



Vera Abreu de Torres Fevereiro

Licenciada em Ciências de Engenharia Civil

Ferramenta de Avaliação da Flexibilidade Energética

Dissertação para Obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Civil – Perfil de Construção

Orientador: Professor Doutor Daniel Aelenei, FCT/UNL

Júri

Presidente: Professor Doutor Corneliu Cismasiu, FCT/UNL

Arguente: Professor Doutor Rui Amaral Lopes, FCT/UNL

Vogal: Professor Doutor Daniel Aelenei, FCT/UNL



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Ferramenta de Avaliação da Flexibilidade Energética

Copyright © Vera Abreu de Torres Fevereiro, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Primeiramente gostaria de agradecer ao Professor Doutor Daniel Aelenei, meu orientador, por toda a confiança depositada em mim e no trabalho realizado, pela frontalidade com que me orientou e ainda por toda a informação e conhecimento partilhado.

Aos meus pais, por todo o apoio que me deram ao longo deste percurso e por se conformarem que a minha saída de casa não é para já. Aos meus irmãos mais velhos, Martim, Tomás e Pedro, por terem contribuído para a definição da minha personalidade, por me dizerem todos os dias, em criança, que tinha sido apanhada no caixote do lixo, por me tornarem resiliente. Ao meu irmão Tomás, que se aproveitou dos meus sábados a estudar, para me pôr a tomar conta dos meus sobrinhos. À minha irmã Luisinha, pela pessoa que é e por toda a roupa que me tirou. Ao meu irmão Lourenço, que me prova que mesmo em constante aprendizagem há sempre conhecimentos que podemos partilhar.

Às mulheres da minha vida, Tucha, Chubby, Picos, Lena e Inês, por serem as pessoas incríveis que são, o destino fez-nos amigas porque nenhuma mãe nos aguentaria como irmãs.

À minha familiazita, Cats, Mafs, Fred, Gordjinho, Necas, Locas e Gala. Mais do que amigos são família, mesmo. Agradecer a todos eles, que mesmo já trabalhando ainda me permitem escolher ir a uma boa tasca, de vez em quando.

A todos os meus amigos da faculdade, em especial à Inês, Glória, Sofia, King Artur e Aninhas, porque a faculdade não se faz só de estudo. À Inês, por todos os conselhos pedidos e ignorados. À Sofia, por todos os atrasos.

Ao Fred, por toda a paciência e motivação, nos dias menos fáceis, e porque ao ler os comentários anteriores se percebe que não tem a vida facilitada.

Resumo

Devido à excessiva contribuição dos consumos energéticos anuais por parte dos edifícios, é necessário que se estime o potencial de flexibilização energética associada aos mesmos, para que a sua utilização desempenhe um papel significativo no fornecimento de uma operação segura e eficiente no futuro do sistema energético.

Deste modo, o presente trabalho foca-se nos métodos de elaboração de uma ferramenta de avaliação da flexibilidade energética (FFLEX). Significa isto que será elaborada uma ferramenta que irá estimar o potencial de flexibilidade energético do sistema de climatização de edifícios de habitação, através de estratégias de exploração do mesmo, considerando o conforto térmico dos utilizadores. A FFLEX será desenvolvida sob a forma duma folha Microsoft Excel e validada com recurso ao software EnergyPlus, com base na avaliação do desempenho de diversas soluções construtivas nos contextos climáticos de Portugal.

Com efeito, a ferramenta proposta reproduz, de forma fiel, o comportamento térmico de edifícios de habitação em diversos contextos climáticos. Por conseguinte, o utilizador, ao utilizar da flexibilidade energética o sistema de climatização, deverá definir os dados de entrada da habitação em estudo e respetivas condições de fronteira, a fim de obter: os valores de temperatura interior otimizada e respetivos ganhos internos; o custo anual do sistema de climatização; a potência a contratar e a potência necessária para o correto funcionamento do sistema de climatização.

Palavras-chave: Flexibilidade energética, Conforto térmico, Ferramenta de simulação, EnergyPlus.

Abstract

Due to the excessive contribution of the annual energy consumption of buildings, it is necessary to estimate the potential of energy flexibility applied to them, in order for its application to perform the significant role of a safe and efficient operation in the future of the energy system.

Thus, the present work focuses on the methods of development of an energy flexibility evaluation tool. Therefore, it will be conceived a tool that will estimate the potential of energy flexibility of a climate control system in residential building, through strategies for its exploration, considering the thermal comfort of the users. This tool will be created under a Microsoft Excel sheet and validated using EnergyPlus software, based on the evaluation of the performance of different construction solutions in the climatic context of Portugal.

The proposed tool correctly reproduces the thermal behaviour of housing buildings in various climatic contexts. Therefore, the user, when optimizing the climatization system, shall define the input data of the housing under study and its boundary conditions in order to obtain: the optimized interior temperature values and their internal gains; the cost of the climatization system; the power to be contracted and the power required for the correct operation of the HVAC system.

Keywords: Energy flexibility, Thermal comfort, Simulation tool, EnergyPlus.

Índice Geral

Agradecimentos	v
Resumo	vii
Abstract	ix
Índice Geral.....	xi
Índice de Tabelas	xiii
Índice de Figuras	xvii
Lista de Acrónimos e Símbolos	xix
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento e Motivação	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Estrutura e Plano da Dissertação	2
2 Fundamentos Teóricos	3
2.1 Conforto Térmico	3
2.2 Eficiência Energética.....	5
2.3 Flexibilidade Energética.....	8
3 Ferramenta de Avaliação da Flexibilidade Energética - FFLEX.....	17
3.1 Diagrama de Casos de Uso.....	19
3.2 Módulos do Sistema	22
4 Casos de Estudo	39
4.1 Casos de Estudo	39
4.2 Caso de Estudo Aplicado ao Software EnergyPlus	44
5 Análise de Resultados.....	47
5.1 Temperatura Exterior	47
5.2 Temperatura Interior.....	49
5.3 Temperatura Interior Otimizada	53
5.4 Ganhos Internos Otimizados	59
5.5 Custo por kWh do Ar-condicionado.....	64
5.6 Potência a Contratar	66
5.7 Potência Ótima do Ar-condicionado	67

6 Conclusões e Desenvolvimentos Futuros	69
Referências	71
Anexos.....	73
Anexo A – Dados necessários ao Cálculo do Balanço Energético	75
Anexo B – Dados Inseridos pelo Utilizador de Temperatura Exterior	85
Anexo C – Introdução de Dados na FFLEX	91
Anexo D – Cálculo do Balanço Energético e Respetivas temperaturas pela FFLEX	95
Anexo E – Resultados Obtidos	98

Índice de Tabelas

Tabela 2.1: Escala de Sensação Térmica de Sete Pontos [8]	4
Tabela 3.1: Características da habitação.....	23
Tabela 3.2: Solução construtiva das envolventes e respetivas orientações	23
Tabela 3.3: Horário de Utilização dos Equipamentos e Ocupação	24
Tabela 3.4: Temperatura de conforto	25
Tabela 3.5 – Condições Gerais dos Casos de Estudo de Temperatura Interior.....	31
Tabela 4.1: Geometria da Habitação	39
Tabela 4.2: Solução construtiva Cubo - Padrão	41
Tabela 4.3: Solução construtiva Cubo – Parede Simples	41
Tabela 4.4: Solução construtiva Cubo – Parede Dupla	41
Tabela 4.5: Solução construtiva Cubo – Vidro Simples.....	41
Tabela 4.6: Solução construtiva Cubo – Vidro Duplo (Argon).....	42
Tabela 4.7: Solução construtiva Cubo – Ganhos Diurnos.....	42
Tabela 4.8: Solução construtiva Cubo – Ganhos Noturnos.....	43
Tabela 4.9: Temperaturas de Conforto	43
Tabela 4.10: Custo e Horário da tarifa contratada.....	44
Tabela 4.11: Características dos Materiais da Envolvente Opaca.....	45
Tabela 5.1: Tmax e Tmin – Lisboa – Cubo – Padrão - Verão.....	57
Tabela 5.2: Tmax e Tmin – Porto – Cubo – Parede simples – Inverno	58
Tabela 5.3: Qmax e Qmin – Porto – Cubo – Padrão - Inverno	63
Tabela 5.4: Custos/kW AC – Évora – Cubo – Parede Simples - Inverno	64
Tabela 5.5: a) Tarifa Bi-horária; b) Tarifa Tri-horária (Custos/kW AC – Lisboa – Cubo – Ganhos Diurnos – Verão).....	65
Tabela 5.6: Potência a contratar – Cubo - Padrão	67
Tabela 5.7: Potência ótima do ar-condicionado – Cubo - Padrão	67
Tabela A.1: Valores de resistência térmica dos espaços de ar não ventilados R _{ar}	75
Tabela A.2: Exemplos de caixilharias	75
Tabela A.3: Exemplos de fatores solares de vãos envidraçados	76
Tabela A.4: Definição da cor da fachada de acordo com a tonalidade.....	76
Tabela A.5: Exemplos de proteções do vão envidraçado	77
Tabela A.6: Consumo padrão dos equipamentos	77

Tabela A.7: Metabolismo humano	78
Tabela A.8: Resistências térmicas superficiais.....	78
Tabela A.9: NUTS III, estação de aquecimento	79
Tabela A.10: Fator de orientação para as diferentes exposições X_j	79
Tabela A.11: Fração envidraçada	80
Tabela A.12: Valores do fator de sombreamento do horizonte F_h na estação de aquecimento.....	80
Tabela A.13: Valores de fator de sombreamento de elementos horizontais F_0 na estação de aquecimento	80
Tabela A.14: Valores de fatores de sombreamento de elementos verticais F_f na estação de aquecimento	80
Tabela A.15: Fator solar do vidro para uma incidência solar normal	81
Tabela A.16: NUTS III, estação de arrefecimento	82
Tabela A.17: Valores de fatores de sombreamento de elementos horizontais F_0 na estação de arrefecimento	83
Tabela A.18: Valores de fatores de sombreamento de elementos verticais F_f na estação de arrefecimento	83
Tabela A.19: Fração de tempo em que os dispositivos móveis se encontram ativados, $F_{m,v}$	83
Tabela A.20: Fator de correção da seletividade angular dos envidraçados na estação de arrefecimento, $F_{w,v}$	83
Tabela A.21: Valores correntes do fator solar de vãos envidraçados com vidro corrente e dispositivos de proteção solar, g_{Tvc}	84
Tabela A.22: Coeficiente de absorção.....	84
Tabela B.1: Temperatura Exterior na Zona Climática do Lisboa.....	85
Tabela B.2: Temperatura Exterior na Zona Climática do Porto.....	87
Tabela B.3: Temperatura Exterior na Zona Climática do Évora.....	89
Tabela C.1: Solução Construtiva Vão Envidraçado	91
Tabela C.2: Ganhos Internos	93
Tabela C.3: Tipo de Tarifa e Horários.....	94
Tabela D.1: Transferência de calor por transmissão	95
Tabela D.2: Transferência de calor por ventilação.....	95
Tabela D.3: Ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento.....	95
Tabela D.4: Ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento.....	96
Tabela D.5: Resultados temperatura interior de conforto e de flexibilização	97
Tabela E.1: Q_{max} e Q_{min} – Porto – Cubo – Padrão - Verão	102
Tabela E.2: Q_{max} e Q_{min} – Porto – Cubo – Parede Simples - Inverno	103

Tabela E.3: Q_{max} e Q_{min} – Porto – Cubo – Parede Simples - Verão	104
Tabela E.4: Q_{max} e Q_{min} – Porto – Cubo – Parede Dupla - Inverno	105
Tabela E.5: Q_{max} e Q_{min} – Porto – Cubo – Parede Dupla - Verão	106
Tabela E.6: Custos/kWh AC – Évora – Cubo – Parede simples - Inverno	107
Tabela E.7: Custos/kWh AC – Évora – Cubo – Vidro Duplo (árgon) – Verão	108
Tabela E.8: Custos/kWh AC – Lisboa – Cubo – Parede simples – Inverno	108
Tabela E.9: Custos/kWh AC – Lisboa – Cubo – Parede simples - Verão.....	109
Tabela E.10: Custos/kWh AC – Lisboa – Cubo – Parede Dupla - Inverno	110
Tabela E.11: Custos/kWh AC – Lisboa – Cubo – Parede Dupla - Verão	110
Tabela E.12: Custos/kWh AC – Porto – Cubo – Padrão - Inverno	111
Tabela E.13: Custos/kWh AC – Porto – Cubo – Padrão - Verão.....	112
Tabela E.14: Custos/kWh AC – Porto – Cubo – Parede Simples - Inverno.....	112
Tabela E.15: Custos/kWh AC – Porto – Cubo – Parede Simples - Verão	113
Tabela E.17: Custos/kWh AC – Porto – Cubo – Parede Dupla – Inverno	114
Tabela E.18: Custos/kWh AC – Porto – Cubo – Parede Dupla - Verão	114

Índice de Figuras

Figura 2.1: Índice PPD em função de PMV [8]	5
Figura 2.2: Características de flexibilidade [26]	9
Figura 2.3: Gestão temporal da carga solicitada pelas bombas de calor e pelo carregamento de veículos elétricos (EV) [29]	11
Figura 2.4: Esquema do cálculo do potencial de flexibilidade para aumento (esquerda) e diminuição (direita) de potência, adaptado de [28]	12
Figura 2.5: Exemplos de perfis de flexibilidade energética [30].....	13
Figura 2.6: Curvas de custo sem (esquerda) e com (direita) pontos intermediários	14
Figura 3.1: Balanço energético no edifício.....	18
Figura 3.2: Diagrama de Casos de Uso	21
Figura 3.4: Caso 2 – Processo de Cálculo da Temperatura de conforto.....	33
Figura 3.5: Caso 3 - Processo de Cálculo da Temperatura de flexibilização	36
Figura 4.1: Geometria da Habitação.....	39
Figura 5.1: Temperatura exterior, estação de arrefecimento, zona climática de Lisboa	48
Figura 5.2: Temperatura exterior, estação de arrefecimento, zona climática de Évora .	49
Figura 5.3: Comparação da temperatura interior com base na $T_{ext Real}$ e na $\Phi 1$	50
Figura 5.4: Cubo – Prede dupla - Temperatura interior obtida no EnergyPlus/MicrosoftExcel.....	51
Figura 5.5: Cubo – Padrão - Temperatura interior obtida no EnergyPlus/MicrosoftExcel	51
Figura 5.6: Cubo – Parede Simples - Temperatura interior obtida no EnergyPlus/MicrosoftExcel.....	52
Figura 5.7: Cubo – Parede Simples Vs. Parede Dupla – Inverno - Lisboa	52
Figura 5.8: Tconforto Vs. Tdepois – Cubo – Padrão – Lisboa - Verão	54
Figura 5.9: Tconforto Vs. Tdepois – Cubo – Padrão – Lisboa - Inverno.....	54
Figura 5.10: Temperatura de conforto de 19°C – Inverno – Cubo – Padrão	55
Figura 5.11: Tflex V.s Tdepois – Verão – Cubo – Ganhos diurnos – Porto	56
Figura 5.12: Flexibilização do sistema de ar-condicionado – Lisboa – Cubo – Padrão – Verão	57
Figura 5.13: Flexibilização do sistema de ar-condicionado – Porto – Cubo – Parede simples – Inverno	58
Figura 5.14: Flexibilização energética – a) Tarifa Bi-horária Vs. b) Tri-horária.....	59

Figura 5.15: a) Flexibilização Energética; b) Ganhos internos (Évora – Cubo – Vidro duplo (árgon) – Verão)	61
Figura 5.16: a) Flexibilização Energética b) Ganhos internos (Lisboa – Cubo – Parede simples – Verão).....	62
Figura 5.17: a) Flexibilização Energética; b) Ganhos internos – Porto – Cubo – Padrão – Inverno.....	63
Figura 5.18: Custo/kWh AC- Évora – Cubo – Parede Simples – Verão.....	64
Figura 5.19: a) Tarifa bi-horária; b) Tarifa tri-horária (Custo/kWh AC- Lisboa – Cubo – Ganhos Diurnos – Verão).....	66
Figura E.1: Ganhos internos – Évora – Cubo – Parede simples – Inverno	98
Figura E.2: Ganhos internos – Évora – Cubo – Parede simples – Verão	98
Figura E.3: Ganhos internos – Évora – Cubo – Parede dupla – Verão	99
Figura E.4: Ganhos internos – Lisboa – Cubo – Parede Simples – Inverno	99
Figura E.5: Ganhos internos – Lisboa – Cubo – Padrão – Inverno	100
Figura E.6: Ganhos internos – Lisboa – Cubo – Padrão – Verão.....	100
Figura E.7: Ganhos internos – Lisboa – Cubo – Parede Dupla – Inverno	101
Figura E.8: Ganhos internos – Lisboa – Cubo – Parede Dupla – Verão	101
Figura E.9: Ganhos internos – Porto – Cubo – Padrão – Verão.....	102
Figura E.10: Ganhos internos – Porto – Cubo – Parede Simples – Inverno.....	103
Figura E.11: Ganhos internos – Porto – Cubo – Parede Simples – Verão	104
Figura E.12: Ganhos internos – Porto – Cubo – Parede Dupla – Inverno.....	105
Figura E.13: Ganhos internos – Porto – Cubo – Parede Dupla – Verão	106
Figura E.14: Custo/kWh AC- Évora – Cubo – Parede Simples – Inverno.....	107
Figura E.15: Custo/kWh AC- Évora – Cubo – Vidro Duplo (árgon) – Verão.....	107
Figura E.16: Custo/kWh AC- Lisboa – Cubo – Parede Simples – Inverno	108
Figura E.17: Custo/kWh AC- Lisboa – Cubo – Parede Simples – Verão	109
Figura E.18: Custo/kWh AC- Lisboa – Cubo – Parede Dupla – Inverno	109
Figura E.19: Custo/kWh AC- Lisboa – Cubo – Parede Dupla – Verão	110
Figura E.20: Custo/kWh AC – Porto – Cubo – Padrão – Inverno	111
Figura E.21: Custo/kWh AC – Porto – Cubo – Padrão – Verão	111
Figura E.22: Custo/kWh AC – Porto – Cubo – Parede Simples – Inverno.....	112
Figura E.23: Custo/kWh AC – Porto – Cubo – Parede Simples – Verão	113
Figura E.24: Custo/kWh AC – Porto – Cubo – Parede Dupla – Inverno.....	113
Figura E.25: Custo/kWh AC – Porto – Cubo – Parede Dupla – Verão.....	114

Lista de Acrónimos e Símbolos

Acrónimos

AC - Ar-condicionado
CE - Comissão Europeia
CHP - Sistema combinado de calor e energia
CO₂ - Dióxido de carbono
DR - *Demand response*
EI - Edifício Inteligente
EV - Veículos elétricos
FFLEX – Ferramenta de Avaliação da Flexibilidade Energética
GEE - Gases de Efeito de Estufa
LULUCF - Setor florestal e alteração de uso do solo
MtCO₂e - Milhões de toneladas de CO₂Equivalente
Pdec - Decréscimo de potência
Pinc - Aumento de potência
PMV - *Predicted Mean Vote*
PNAE - Plano Nacional de Ação para a Eficiência energética
PNAEC - Programa Nacional para as Alterações Climáticas
PNAER - Plano Nacional para as energias renováveis
PNALE - Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissões
PPD - *Predicted Percentage of Dissatisfied*
SRI - *Smart Readiness Indicator*
UE - União Europeia
URE - Utilização racional de Energia
VRF - Volume Variável de Fluido Frigorígeno

Simbologia

A - Dissipação/ganho de calor pela envolvente e vãos envidraçados (W/°C)
 a_0 , a_n , e b_n - Equações periódicas de estabilização
 A_{op} - Área da envolvente opaca (m²)
 A_{pav} - Área útil de pavimento (m²)
 A_s - Área efetiva coletora da envolvente opaca (m²)
 $A_{s,i}$ - Área efetiva coletora (m²)
 $A_{s,isul}$ - Área efetiva total equivalente numa orientação a sul (m²)
 $A_{s,v}$ - Área efetiva (m²)

A_v - Área do vão envidraçado (m^2)
 c_v - Calor específico do ar a volume constante (CAL/g.°C)
 e - Espessura (m)
 F_f - Fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado, compreendendo palas verticais, outros corpos ou partes de um edifício
 F_g - Fração envidraçada
 F_h - Fator de sombr. do horizonte por obstruções ext. ao edifício ou outros elementos do edifício
 F_o - Fator de sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes ao envidraçado, compreendendo palas horizontais, outros corpos ou palas do edifício
 F_s - Fator de obstrução dos vãos envidraçados
 $F_{s,v}$ - Fator de obstrução
 F_{wi} - Fator de seletividade angular
 g_i - Fator solar dos vãos envidraçados na estação de aquecimento
 G_{sul} - Radiação média incidente num envidraçado a sul (kWh/m².mês)
 g_T - Fator solar global de proteções móveis e permanentes
 g_{Tp} - Fator solar global de proteções permanentes
 g_{Tvc} - Dispositivos de proteção solar
 g_v - Fator solar de verão
 H_{adj} - Coef. de trans. de calor através de elementos da envolvente em contacto c/ edifícios adj. (W/°C)
 H_{ecs} - Coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo (W/°C)
 H_{enu} - Coef. de transferência de calor através de elementos em contacto com espaços não uteis (W/°C)
 H_{ext} - Coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o exterior (W/°C)
 H_{tr} - Coeficiente global de transferência de calor (W/°C)
 H_{ve} - Coeficiente de transferência de calor por ventilação (W/°C)
 I_{sol} - Intensidade da radiação (kWh/m².ano)
 L_v - duração da estação de arrefecimento (dia)
 M - Duração da estação de aquecimento (mes)
 M_{vc} - Massa específica do ar (kg/m³)
 P - Consumo de energia (W)
 P_{dm} - Pé direito médio (m)
 $Q_{conforto}$ - Ganhos internos associados à T_{conf}
 Q_{eq} - Ganhos dos equipamentos (kWh/ano)
 $Q_{flexibilização}$ - Ganhos internos associados à T_{flex}
 Q_g - Ganhos térmicos brutos (kWh/ano)
 $Q_{g,i}$ - Ganhos térmicos brutos na estação aquecimento (kWh/ano)

Q_{gv} - Ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento (kWh/ano)
 Q_{il} - Ganhos da iluminação (kWh/ano)
 Q_{int} - Ganhos internos (kWh/ano)
 q_{int} - Ganhos internos médios (kWh/ano)
 Q_{oc} - Ganhos dos ocupantes (kWh/ano)
 $Q_{sol,i}$ - Ganhos solares brutos (kWh/ano)
 $Q_{sol,v}$ - Ganhos solares brutos no verão (kWh/ano)
 R - Resistência térmica ($m^2.K/W$)
 R_{ar} - Espaço de ar não ventilado ($m^2.K/W$)
 R_{ph} - Taxa nominal de renovação de ar ($m^2.K/W$)
 R_{se} - Resistência térmica superficial exterior ($m^2.K/W$)
 R_{si} - Resistência térmica superficial interior ($m^2.K/W$)
 S - Potencia aparente (kVA)
 t - Tempo (h)
 $T_{int\ s/AC}$ - Temperatura sem ar-condicionado ($^{\circ}C$)
 $T'(t)$ - Temperatura interior em função do tempo ($^{\circ}C$)
 $T_{conforto}$ - Temperatura de conforto ($^{\circ}C$)
 T_{depois} - Temperatura interior da hora seguinte ($^{\circ}C$)
 T_{ext} - Temperatura exterior ($^{\circ}C$)
 T_{flex} - Temperatura de flexibilização ($^{\circ}C$)
 T_{int} - Temperatura interior ($^{\circ}C$)
 T_{max} - Temperatura máxima diária ($^{\circ}C$)
 T_{min} - Temperatura mínima diária ($^{\circ}C$)
 U - Coeficiente de transmissão térmica superficial ($W/m^2.^{\circ}C$)
 X_j - Fator de orientação dos respetivos vãos envidraçados
 α - Coeficiente de absorção
 λ - Condutibilidade térmica ($W/m.K$)
 Φ_1 - Temperatura exterior ($^{\circ}C$)
 Φ_2 - Função do tipo Heaviside ($^{\circ}C$)

1 Introdução

1.1 Enquadramento e Motivação

O avanço tecnológico ao longo dos últimos anos, principalmente na área da tecnologia de informação, trouxe mudanças no sector da engenharia civil. No entanto, as mudanças tecnológicas visíveis neste setor estão muito atrasadas comparativamente a outras indústrias. Por este motivo a Comissão Europeia (CE), elaborou um estudo intitulado “*Support for setting up a Smart Readiness Indicator for Buildings and related impact assessment*” com o objetivo de caracterizar e explorar a flexibilidade energética dos edifícios [1].

De acordo com o grupo de trabalho Annex 67 – Energy Flexible Buildings da Agência Internacional de Energia (AIE), o conceito de flexibilidade energética consiste na capacidade de um edifício suportar a gestão temporal do consumo e da produção de energia e depende das condições climáticas do local, das necessidades do utilizador e dos requisitos da rede elétrica [1].

Com foco no avanço tecnológico no setor da engenharia civil, o presente trabalho pretende desenvolver uma ferramenta de avaliação da flexibilidade energética (FFLEX) sob a forma duma folha Microsoft Excel. A FFLEX, validada com recurso ao software EnergyPlus [2], tem por base os problemas derivados da utilização dos sistemas de climatização em determinadas edificações e épocas do ano. Esta problemática surge devido à necessidade de satisfação do conforto térmico do utilizador e ao défice na solução construtiva de um edifício.

Assim, o objetivo da FFLEX é permitir ao utilizador utilizar a flexibilidade energética o funcionamento do sistema de climatização com base na estimativa do potencial de flexibilidade energética avaliada em função das características físicas da habitação e das tarifas de eletricidade, sem prejuízo do conforto térmico. Na prática, a utilização da flexibilidade energética é executada em função do potencial de flexibilização do sistema de climatização de acordo com os custos de tarifa horários, de modo a que nos picos de procura não haja necessidade de ativação do sistema de climatização ou que pelo menos o seu consumo seja reduzido, sem afetar o conforto térmico dos utilizadores.

1.2 Objetivos

A presente dissertação tem como objetivo o desenvolvimento duma ferramenta que permite avaliar o potencial de utilização da flexibilidade energética na gestão do conforto e energia numa habitação. Esta ferramenta, desenvolvida no software Microsoft Excel, assenta nos princípios de transmissão de calor que regem o comportamento térmico de edifícios em regime transiente. Através da caracterização das soluções construtivas, dos equipamentos e dos seus hábitos de utilização, é possível explorar diversos cenários, tais como as tarifas e potência de eletricidade a contratar e os períodos de funcionamento dos equipamentos de climatização, com o objetivo de avaliar as vantagens em termos de flexibilidade energética a adotar

1.3 Estrutura e Plano da Dissertação

De forma a promover a compreensão dos resultados obtidos no presente trabalho, a dissertação inicia com um enquadramento teórico sobre o tema de acordo com a bibliografia consultada. Em seguida, é apresentada a metodologia adotada e a sua implementação. Posteriormente, são definidos os casos de estudo aplicados à ferramenta e ao software EnergyPlus e analisados os seus resultados. E por fim, são enumeradas as conclusões.

2 Fundamentos Teóricos

Conforto térmico, eficiência energética, flexibilidade energética e modelos de caracterização de flexibilidade, são os quatro subcapítulos presentes neste capítulo, onde se apresenta a revisão de literatura referente a cada um.

2.1 Conforto Térmico

O ser humano é um animal de sangue quente ou homeotérmico, que consegue manter a temperatura interna do corpo mais ou menos constante, na ordem dos 37°C. Uma vez que as temperaturas termo-higrotérmicas são bastante variáveis, o Ser Humano, através de mecanismos de controle, consegue aumentar ou reduzir as perdas de calor pelo organismo por intermédio do seu aparelho termorregulador [3].

Quando o ser humano tem uma reação ao frio, ou seja, quando as condições ambientais proporcionam perdas de calor do corpo, o aparelho termorregulador provoca a diminuição do volume do sangue e do ritmo cardíaco, o arrepios e o trairar provocam atividade, gerando calor. No caso de reação ao calor, devido à alta temperatura do meio, o aparelho termorregulador, provoca um aumento do volume de sangue ao acelerar o ritmo cardíaco, que provoca a transpiração [4].

Todavia, nem sempre o aparelho termorregulador do corpo humano é suficiente para manter o balanço térmico corporal estável, ou seja, por vezes não é possível que, sem a influência de fatores ambientais e fatores pessoais, se consiga manter nula a diferença entre o calor produzido pelo corpo e o calor perdido para o ambiente, causando desconforto por calor ou por frio. Para estudar a sensação de desconforto do Homem, definiu-se um modelo de balanço de calor do corpo humano que é influenciado por quatro fatores ambientais e dois fatores pessoais [5], como indicado de seguida:

- Fatores ambientais:
 1. Temperatura do ar – (influencia as trocas de calor por convecção);
 2. Temperatura radiante média (temperatura das paredes e superfícies) – (influencia as trocas de calor por radiação);
 3. Velocidade relativa do ar – (influencia as trocas de calor por convecção forçada);
 4. Humidade – (influencia as trocas de calor por respiração e por evaporação de água e suor).

- Fatores pessoais:
 1. Metabolismo – (influenciada pela produção interna de calor do corpo);
 2. Resistência térmica e vestuário – (gera resistência a trocas de calor por convecção).

Quando a diferença entre o calor produzido pelo corpo e o calor perdido para o ambiente é nula, a temperatura corporal mantém-se constante, situação caracterizada por neutralidade térmica. Uma pessoa pode estar em neutralidade térmica, mas não em conforto térmico. Embora a neutralidade seja condição necessária para que haja conforto térmico, esta não é condição suficiente, pois uma pessoa exposta a radiação assimétrica, correntes de ar, diferença na temperatura do ar no sentido vertical ou pisos aquecidos/arrefecidos, poderá estar em neutralidade térmica sem estar em conforto térmico, uma vez que poderá sentir desconforto. Deste modo, conclui-se que o conforto térmico é o estado mental, que expressa satisfação do homem com o ambiente térmico que o circunda [5]. Por outras palavras, ao estar em conforto térmico, uma pessoa não prefere um ambiente nem mais frio nem mais quente [6].

Como forma de alcançar o valor mais indicado de temperatura no interior de um edifício, considera-se necessário que pelo menos 80% dos ocupantes aceitem as condições ambientais térmicas em que se inserem, ao conciliar os fatores ambientais espaciais internos e os fatores pessoais, referidos anteriormente. Ao considerar a palavra “aceitável” está a considerar-se uma “satisfação”, não implicando que 80% dos ocupantes estejam em conforto térmico [5]. Isto significa que pelo menos 80% dos ocupantes tem uma sensação térmica de “ligeiramente quente”, “neutra” e “ligeiramente fresco”. As sensações térmicas são medidas pelo índice PMV (*Predicted Mean Vote*) que avalia o voto de um grande número de pessoas na escala de sensação térmica de 7 pontos, Tabela 2.1. A percentagem de pessoas com insatisfação térmica (Frio, Fresco, Quente, Muito Quente) é medida pelo índice PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*) (Figura 2.1) [7].

Tabela 2.1: Escala de Sensação Térmica de Sete Pontos [8]

PMV	Sensação
+3	Muito quente
+2	Quente
+1	Ligeiramente quente
0	Neutro
-1	Ligeiramente fresco
-2	Fresco
-3	Frio

É muito difícil cumprir a condição estreita de conforto térmico sem recurso a sistemas de climatização. Todavia, de acordo com a literatura, pessoas que frequentem espaços com o sistema de climatização ativos, são mais suscetíveis a sentir alterações de temperatura que pessoas que frequentem, por norma, espaços sem sistema de climatização [5].

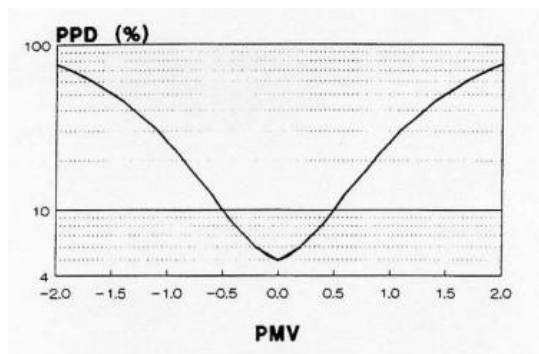


Figura 2.1: Índice PPD em função de PMV [8]

Um outro estudo refere que a temperatura ótima do interior de um edifício, na estação de arrefecimento é de 25°C, e na estação de aquecimento é de 20°C, podendo variar entre os 23°C e 27°C, e os 18°C e 22°C, respetivamente. Estes valores são aplicáveis para uma velocidade do ar de 0,5m/s, humidade relativa entre os 40% e 60%, roupa de meia estação, posição sentada, ocupação sedentária e temperatura radiante média igual à temperatura do ar [5]. Detetou-se ainda, uma aceitação térmica das pessoas, acima dos 80%, quando sujeitas a um período de oito horas com alterações de 0,6°C por hora, para temperaturas entre os 23°C e os 27°C no verão e os 18°C e os 22°C no inverno [9].

Com o intuito de obter um ambiente interior dos edifícios termicamente confortável para os seus utilizadores, as normas sobre conforto térmico são uma ferramenta essencial. Inicialmente estas normas tinham como principal preocupação definir as condições de conforto térmico, sem ter em conta os consumos energéticos necessários para atingir o conforto. Mas devido aos problemas ambientais que são cada vez mais evidentes e à necessidade do desenvolvimento sustentável, estas normas de conforto térmico têm de considerar formas de o atingir com o menor consumo energético possível [10].

2.2 Eficiência Energética

Portugal está comprometido com a estratégia Europa 2020, desenvolvida pela União Europeia. Esta estratégia visa um crescimento inteligente e sustentável como forma de superar as deficiências estruturais da economia europeia, melhorar a sua competitividade e produtividade e assegurar uma economia social de mercado sustentável. Relativamente às alterações climáticas e energias, Portugal ficou comprometido a cumprir metas com objetivos ambiciosos referentes às emissões de gases de efeito de estufa, GEE, e de melhoria da sua eficiência energética. Deste

modo Portugal fica limitado ao crescimento das emissões de GEE, até 2020, em 20% face ao registo em 1990. Fica ainda comprometido no aumento em 20% da eficiência energética e da parte de energia de fontes renováveis [11].

Ainda neste âmbito, Portugal identificou várias estratégias, articuladas entre si, com o objetivo de cumprir as metas de 20/20/20 definidas pela União Europeia. São exemplo disso as medidas contempladas no Plano Nacional de Ação para a Eficiência energética, PNAE, no Plano Nacional para as energias renováveis, PNAER, no Programa Nacional para as Alterações Climáticas, PNAEC, e no plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissões, PNALE. Com base numa estimativa mais recente, prevê-se que Portugal venha a cumprir os compromissos previstos, na meta imposta pela estratégia Europa 2020 [12].

Segundo o relatório do Estado do Ambiente REA 2013 o sector doméstico foi responsável pelo consumo de 17% de eletricidade, sendo o terceiro maior sector de consumo de eletricidade em Portugal [12]. De acordo com a Direção Geral de Energia e Geologia a energia final consumida no setor doméstico engloba o aquecimento e arrefecimento dos espaços, o aquecimento de água doméstica, a ventilação e a iluminação dos edifícios e equipamentos utilizados pelos ocupantes [13].

2.2.1 Conceito de Eficiência Energética

Pode-se definir a eficiência energética como o rácio entre o resultado em termos de desempenho e dos serviços, bens ou energia gerados e a energia utilizada para o efeito [14]. Ou seja, trata-se dum conceito que procura otimizar o uso da energia, ao consumir menos para fornecer a mesma quantidade de valor energético.

Seria muito mais eficiente, num cenário de curto a médio prazo, alcançar os objetivos de sustentabilidade por meio do uso de recursos renováveis. Todavia, o fornecimento de energia de fontes renováveis é regulado pela disponibilidade da respetiva fonte primária de energia, não havendo, frequentemente, produção suficiente para a autonomia do utilizador. O problema agrava-se com as necessidades de conforto térmico, aliadas ao aparecimento de equipamentos tecnológicos com preços de aquisição acessíveis à população, aumentando a aquisição dos mesmos por parte do utilizador [15].

2.2.2 Edifícios Inteligentes

Define-se como Edifício Inteligente, (EI), “aquele que permite a criação de ambientes produtivos, através da otimização de seus quatro elementos básicos: estrutura, sistema, serviços e gestão, assim como o inter-relacionamento entre eles, [...] a única característica indispensável a todos os EIs é ter a estrutura concebida de tal modo a poder acomodar modificações convenientemente com o mínimo custo”, [16].

A chamada “era da informação” foi um dos principais impulsionadores da “inteligência dos edifícios”, que levou à introdução de requisitos como a flexibilidade, produtividade e segurança [17]. A palavra inteligente é utilizada como referência ao alto grau de automação possível através da integração dos diversos sistemas do edifício [18].

Um EI deve ter flexibilidade e modularidade para acomodar qualquer modificação, fornecendo a base sobre a qual serão implementados outros desenvolvimentos futuros. Um dos principais sistemas que compõe um EI é a distribuição da energia elétrica aos equipamentos de acordo com a procura ou de acordo com a prioridade definida e ativação automática de baterias e geradores de reserva [19]. Deste modo, a flexibilidade energética é representada, pela EU, como um dos três pilares que regem a “inteligência” de um edifício, pois um estudo da CE define um EI como um edifício capaz de gerir/interagir com os seus utilizadores e participar na resposta de procura, de acordo com o número e tipo de serviços existentes [1].

Uma vez que os edifícios representam 40% do consumo global de energia, o setor da construção desempenha um papel fundamental no futuro sistema energético inteligente [20].

2.2.3 Medidas de Redução das Necessidades Energéticas

Os edifícios são classificados do ponto de vista energético segundo um conjunto de informações acerca do seu desempenho, nível de emissões de CO₂ e conforto. A classificação energética do edifício segue uma escala de A+, A, B, B-, C, D, E e F, em que a classe A+ corresponde a um edifício com melhor desempenho energético, e a classe F corresponde a um edifício de pior desempenho energético. Os edifícios novos, com pedido de licença de construção após entrada em vigor do Sistema de Certificação Energética (SCE), têm classes energéticas entre A+ e B-, sendo a classe B- o limite inferior a que estes edifícios estão sujeitos, e as grandes intervenções têm classe energética mínima de C. Todavia, os edifícios já existentes poderão apresentar qualquer classe [13].

Para tornar um edifício energeticamente eficiente é necessário ter em consideração, logo em fase de projeto, determinadas medidas como a escolha da localização, orientação, fator de forma, estratégias de sombreamento, redes prediais, materiais e sistemas construtivos. No entanto, as medidas comportamentais tomadas pelos utilizadores, também podem contribuir para a poupança energética, como por exemplo ter em consideração a etiqueta energética na escolha de eletrodomésticos, medir os consumos em tempo real e não manter equipamentos em modo standby e consumos fantasmas [21].

Também os equipamentos têm de ser energeticamente eficientes para que o edifício no seu todo tenha necessidades energéticas reduzidas. A etiqueta energética dos eletrodomésticos foi criada com o intuito de informar o consumidor, no ato da compra, da sua eficiência energética. Para além do seu desempenho poderá informar também sobre a água consumida ou os ruídos

produzidos. Os equipamentos são classificados numa escala de 7 classes, de A+++ (mais eficiente) a D (menos eficiente). Os aparelhos de refrigeração são classificados de A+++ a G, apresentando 10 classes de classificação [22].

Para a medição dos consumos em tempo real são instalados *smart meters* que permitem o registo do consumo de energia de quinze em quinze minutos, ou pelo menos horário, que consciencializa o utilizador do consumo que efetua. Com um *smart meter* não só se tem noção dos consumos dos eletrodomésticos, como é possível prever quando ocorrem picos de consumo dos mesmos e quais os custos de operação em certos horários [22].

Uma das tecnologias mais avançadas utilizadas para implementação de medidas de eficiência energética que possibilita controlar a iluminação, a climatização, a automação dos estores e o funcionamento de equipamentos de acordo com a programação horária, é a domótica. Embora haja muitos benefícios na utilização da domótica, a sua aceitação tem sido pequena, devido a fatores de ordem tecnológica, de ordem económica, à facilidade de utilização e à perceção do grau de utilidade [23].

Assim, uma das melhores abordagens que deve ser tomada para reduzir os consumos de energia, é a interação direta com o consumidor doméstico, ou seja, consciencializar os utilizadores para que estes possam estar atentos ao seu consumo diário e ter influência direta no consumo ao alterarem os seus hábitos rotineiros. Esta abordagem relacionada com a alteração comportamental, de modo a aumentar a eficiência energética, é frequentemente denominada por “Utilização racional de Energia” (URE), que pressupõe a adoção de medidas que permitam uma melhor utilização da energia, tanto no sector doméstico, como nos sectores de serviços e indústria [24].

2.3 Flexibilidade Energética

Como referido anteriormente, a melhor abordagem para potenciar a eficiência energética de um edifício também passa pelo papel desempenhado pelos utilizadores na sua forma de influenciar os seus consumos diários. É importante, então, não só consciencializar os utilizadores, como viabilizar uma ferramenta que estime os custos reais para que seja possível uma real diminuição dos consumos. Uma das formas de conseguir esta diminuição é pela utilização da flexibilidade energética.

2.3.1 Definição de Flexibilidade Energética

É definida flexibilidade energética de um edifício como a capacidade de gestão temporal do consumo e da produção de energia de acordo com as condições climáticas do local, das necessidades do utilizador e dos requisitos da rede elétrica [1].

Existem quatro fatores que influenciam a capacidade dos edifícios de fornecer flexibilidade energética [25]:

1. Características físicas do edifício, como a massa térmica, o isolamento e o layout arquitetônico;
2. O tipo de tecnologias presente no edifício, como a ventilação, aquecimento e equipamentos de armazenamento;
3. O sistema de controle que permite a interação com o utilizador, possibilidade de responder e reagir a sinais externos, como o preço da eletricidade ou valores de CO₂;
4. Requisitos de comportamento e conforto dos ocupantes.

Definido o conceito de flexibilidade, é necessário entender que a flexibilidade energética não é apenas o resultado das tecnologias disponíveis num edifício, todavia depende significativamente da utilização das mesmas, ou seja, do controlo e interação com as redes de energia circundantes, dos ocupantes e outras condições de fronteira, como a temperatura exterior do local estudado. Deverá haver um maior aproveitamento da flexibilização energética aplicada a um edifício, pois irá desempenhar um papel significativo no fornecimento de uma operação segura e eficiente no futuro do sistema energético, uma vez que os edifícios representam, aproximadamente 40% do consumo anual global de energia. A flexibilidade energética, neste contexto, poderá ser aplicada ao sistema de controlo inteligente das cargas de energia do edifício, quer de climatização quer elétrico [1].

Consequentemente, a flexibilidade energética de um edifício não é constante, varia de acordo com fatores externos e sinais de controlo, que induzem uma resposta ao sistema, sem comprometer as condições de conforto do utilizador, Figura 2.2. Assim, um edifício é capaz de desviar o consumo de energia instantânea minimizando o efeito do *penalty signal* (sinal de controlo da flexibilidade energética de um edifício). A utilização da flexibilização energética aliada a sinais de controlo poderá minimizar o consumo de energia, minimizar a pegada de CO₂ do edifício e, com mais relevância no presente trabalho, minimizar o custo do consumo energético, poderá também conciliar a minimização de todos estes fatores [1].

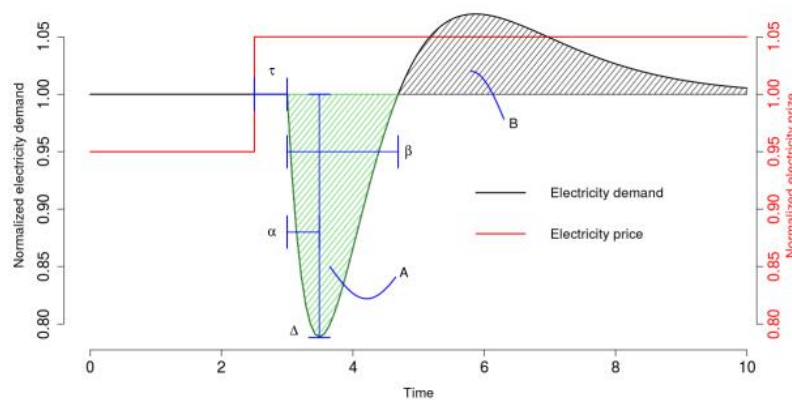


Figura 2.2: Características de flexibilidade [26]

Em que τ (Tempo) representa o tempo que demora entre o aumento do preço da energia e o efeito no consumo de energia; Δ (potência) representa o consumo máximo após a mudança de penalidade; α (Tempo) representa o tempo que leva desde o início da alteração do consumo até se atingir o nível mais baixo; β (Tempo) representa o tempo total de diminuição do consumo de energia; A (Energia) representa a quantidade total de consumo de energia diminuída; B (Energia) representa a quantidade total de consumo de energia aumentada.

Os fatores externos referidos anteriormente atuam como condições de fronteira que podem variar ao longo da vida útil do edifício. Deste modo, existem condições de fronteira de baixa frequência (e.g., alterações climáticas, fatores macroeconómicos, avanços tecnológicos, custo de energia, uso do edifício) e condições de alta frequência (e.g., energias renováveis disponíveis, ganhos internos/solares, comportamento do utilizador, temperatura ambiente, preço de energia por hora) [1].

Há um aumento progressivo do consumo de energia nos edifícios, devido à aquisição de equipamentos alternativos, como veículos elétricos (EV), e sistemas de climatização. Este aumento de consumo, não só aumentará os custos como poderá aumentar a potência máxima aparente necessária e a poluição ambiental. Para resolver esta problemática introduz-se um mecanismo de procura-resposta (*demand response*), (DR). A DR dos edifícios pode ser definida como a reação dos utilizadores às mudanças de preço de energia fornecida pelo fornecedor de energia. Significa isto, que os utilizadores podem desviar a carga das horas de pico para horas fora de pico, com menor custo [27]. Um sistema de DR dificilmente poderá acomodar as alterações de preferência do utilizador, pois não tem em consideração a avaliação do mesmo [28].

Um exemplo prático da utilização da flexibilidade energética de uma rede de edifícios pode ser observado na (Figura 2.3) que apresenta a gestão temporal da carga solicitada pelas bombas de calor e pelo carregamento de veículos elétricos (EV) [1]. Na Figura 2.3 a) observa-se a carga elétrica solicitada numa rede ao longo de um dia. Na Figura 2.3 b) à carga elétrica solicitada na rede ao longo do dia foram introduzidas as cargas da bomba de calor e dos veículos elétricos, estas cargas excedem a carga máxima assinalada entre as 17h e as 20h. Para terminar, na Figura 2.3 c) é feita a gestão temporal das cargas necessárias para a bomba de calor e veículos elétricos, onde se constata quatro situações:

- Vermelho: Foi efetuado um pré-aquecimento excessivo do edifício, dentro da temperatura de conforto, antes da hora de pico da carga solicitada.
- Amarelo: Foi fornecido aquecimento extra para manter a temperatura de conforto mínima, imediatamente após a carga de pico.
- Preto: O carregamento dos veículos foi executado de forma repartida para que o seu valor nunca ultrapasse a carga máxima da rede.
- Azul: Aqui verifica-se que a carga elétrica solicitada no edifício não teve qualquer alteração, isto porque estas cargas não podem ser desviadas, uma vez que há equipamentos de fornecimento de energia contínuo (e.g. alarmes) e outros equipamentos que são controlados pelo utilizador (e.g. iluminação, sistemas audiovisuais).

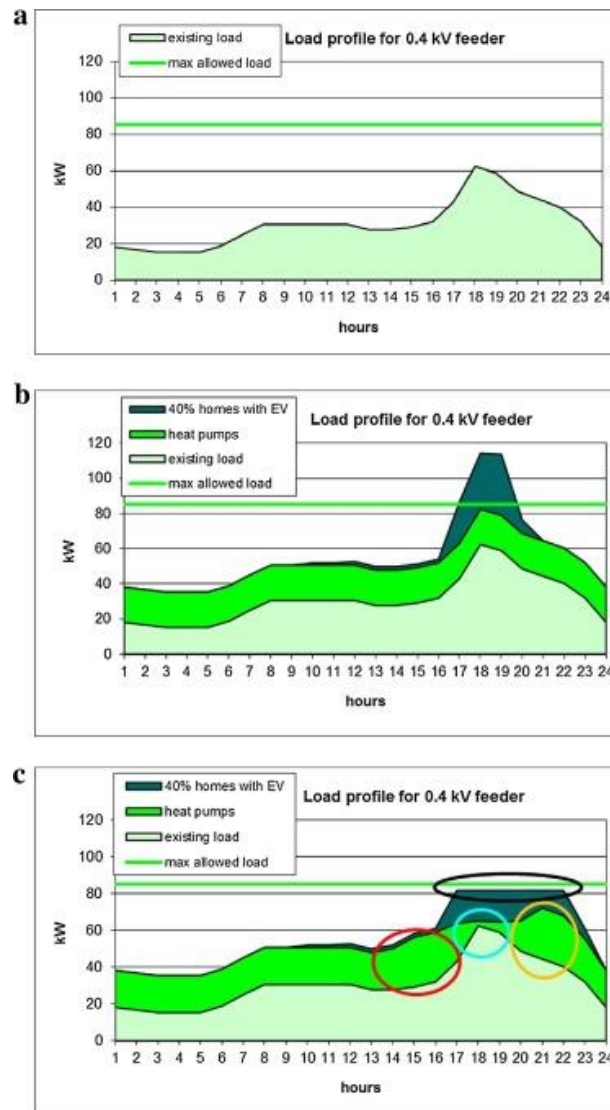


Figura 2.3: Gestão temporal da carga solicitada pelas bombas de calor e pelo carregamento de veículos elétricos (EV) [29]

Conclui-se que para se utilizar flexibilidade energética é necessário que os equipamentos possuam cargas com capacidade de armazenamento de energia. Os equipamentos que o seu consumo não é imediato à utilização (e.g.: termoacumuladores) ou os equipamentos que possibilitem a gestão temporal da sua utilização (e.g.: sistema de climatização, bombas de calor, máquinas de lavar e secar roupa, máquinas de lavar loiça), são equipamentos que viabilizam a flexibilidade energética através das suas cargas, desde que a qualidade do serviço prestado não diminua e não se influencie em demasia o conforto e rotina dos ocupantes

2.3.2 Metodologias de Caracterização de Flexibilidade

Com a definição do conceito de flexibilidade surge a necessidade de quantificar/qualificar genericamente o potencial de cada edifício quanto à sua capacidade de fornecer flexibilidade energética. Os indicadores de flexibilidade surgem na literatura como forma de avaliar qual o

impacto do uso da flexibilidade em diversos níveis, tendo ou não em consideração os custos energéticos. Deste modo, estes indicadores têm em consideração o conforto dos ocupantes, os sistemas de climatização, a rede de eletricidade e as condições climáticas exteriores. Os indicadores de flexibilidade surgem como forma de sincronizar o setor de engenharia civil com o setor energético. Estes indicadores são de fácil compreensão por ambas as partes, o que facilita as decisões operacionais e de projeto [1].

Para potenciar a flexibilização dos edifícios, a Comissão Europeia propõe que os operadores do sistema de distribuição (DSO) (e.g., EDP distribuição em Portugal), participem ativamente na exploração do potencial de flexibilidade energético local, para que a rede se torne mais eficiente e segura. Além disso, para que se potencie o sistema inteligente dos edifícios, surge um *Smart Readiness Indicator* (SRI) que avalia diferentes serviços inteligentes integrados em edifícios. Todavia existe uma outra abordagem, para que haja uma simbiose entre o setor de engenharia civil e o setor de eletricidade, que permite quantificar o potencial de flexibilidade energética de um edifício, apoiando as decisões construtivas no projeto e operação [1].

Deste modo, para se saber qual o nível de flexibilidade disponível num instante específico do dia e/ou qual a duração dessa flexibilidade, é utilizado o potencial de flexibilidade. O potencial de flexibilidade de um edifício é definido como o aumento de potência P_{inc} e/ou o decréscimo da mesma P_{dec} num determinado instante do dia combinando ainda a duração possível para essa variação Δt , mantendo sempre o conforto e respeitando as medidas funcionais do equipamento [28]. Existem assim dois casos possíveis para o cálculo de flexibilidade, (Figura 2.4). Quando a flexibilidade do dispositivo é usada para aumentar (Figura 2.4 esquerda) ou diminuir (Figura 2.4 direita) o consumo de energia durante um intervalo de tempo Δt , P corresponde à potência total da energia resultante. P_{ref} é a potência de energia do equipamento quando o uso de flexibilidade energética é iniciado. E_{max} e E_{min} representam o perfil de consumo de energia quando o consumo de energia é o mais cedo possível e o mais tardio possível, respetivamente.

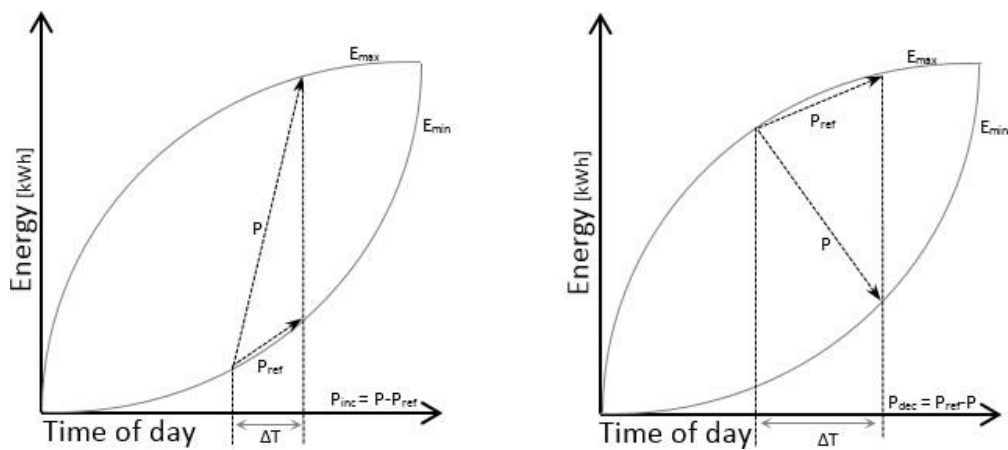


Figura 2.4: Esquema do cálculo do potencial de flexibilidade para aumento (esquerda) e diminuição (direita) de potência, adaptado de [28]

Um exemplo de perfis de flexibilidade energética resultante, relativos a uma extrapolação

de flexibilidade energética de três dos equipamentos testados no projeto LINEAR (máquinas de lavar loiça, máquinas de lavar roupa e máquinas de roupa) apresenta-se na Figura 2.5 onde o potencial de uma rede é medido através da combinação de P_{inc} e P_{dec} num intervalo de tempo Δt [28].

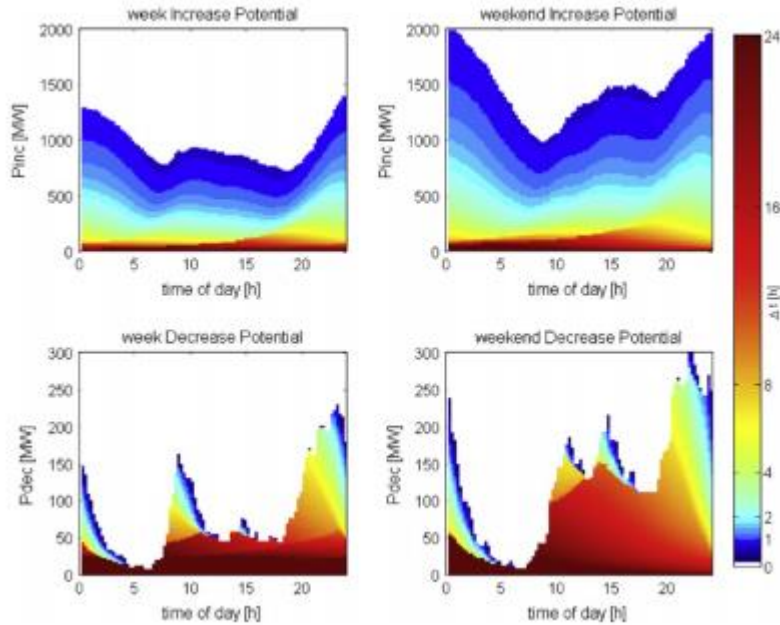


Figura 2.5: Exemplos de perfis de flexibilidade energética [30]

De seguida serão apresentados indicadores que têm em conta o custo energético e que permitem, por isso, estabelecer uma relação direta entre os custos implícitos no uso da flexibilidade, para que estes possam ser reduzidos.

Com foque em sistemas de aquecimento que usam propriedades térmicas de edifícios para fornecer flexibilidade energética, foi feita uma análise através de curvas de custo (Figura 2.6) com o propósito de observar o custo real utilizando a flexibilidade disponível. À esquerda (Figura 2.6 esquerda) a curva é dada por meio de três estratégias de controlo ótimas diferentes relacionadas com os custos de eletricidade. Como plano de referência, na primeira estratégia, preserva-se a temperatura interior do edifício mantendo os limites da zona de conforto do utilizador, minimizando-se os custos de eletricidade associados à operação dos dispositivos controlados (bombas de calor, sistemas de ventilação e sistemas de armazenamento de energia térmica). As restantes estratégias de controlo pretendem maximizar e minimizar o consumo de energia dos dispositivos durante um intervalo de tempo controlável, no qual a flexibilidade é calculada, cumprindo sempre os limites da zona de conforto dos utilizadores. À direita (Figura 2.6 direita) está presente a resultante de flexibilidade e custos de estratégias de controlo intermediárias. Em ambas as figuras o ponto (0,0) diz respeito ao plano de referência [27].

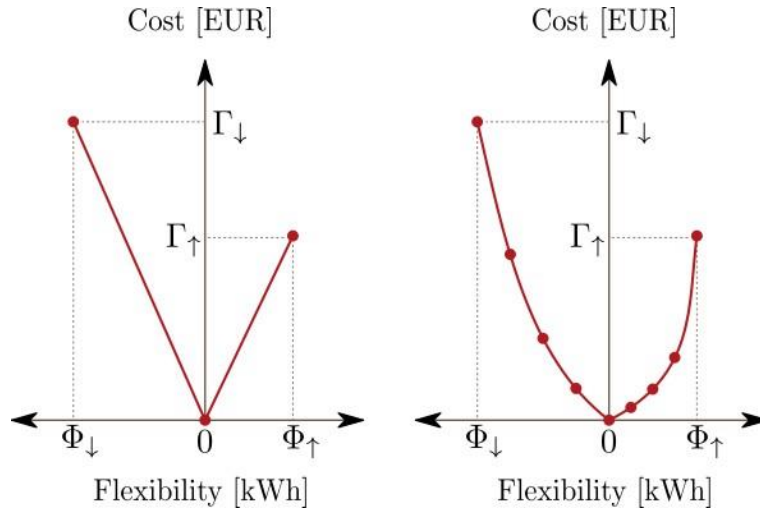


Figura 2.6: Curvas de custo sem (esquerda) e com (direita) pontos intermediários

Outro dos objetivos é minimizar os custos energéticos, sem entrar em confronto com o conforto dos utilizadores, tem como base duas estratégias de controlo, uma direta e outra indireta [27]. Relativamente à estratégia de controle direto, o sistema atua de acordo com os sinais que recebe da rede, ou seja, quando se dá um pico de potência a carga é desligada, o pico de potência é definido entre o utilizador e a rede. Esta estratégia tem por objetivo, no caso de excedente de energia armazenada, esta ser libertada quando as cargas são desligadas mantendo assim a temperatura dentro dos limites de conforto.

Na estratégia de controle indireto, com o objetivo dos utilizadores consumirem menos nas horas de pico, foi aumentada a tarifa no intervalo das mesmas. Com isto o objetivo não é que sejam reduzidas as cargas de consumo, mas sim que haja um deslocamento dos equipamentos que permitem flexibilidade para fora das horas de pico, cumprindo sempre o requisito dos equipamentos e mantendo o conforto dos utilizadores, baixando assim o custo associado à sua utilização. Primeiramente é necessária a utilização de um controlador, que utiliza os conhecimentos prévios do perfil de custos diários da eletricidade de forma a mover o consumo para os períodos mais adequados, para minimizar os custos de consumo. Apesar de se ter de manter o conforto há sempre uma tolerância associada e quanto maior a tolerância maior a redução de custos, pois é essa mesma tolerância que limita a quantidade de consumo que poderá ser deslocado. As condições térmicas do edifício também são condicionantes na estratégia de controlo indireto.

Ao analisar os indicadores de flexibilidade energética acima descritos, conclui-se que é possível a elaboração de uma ferramenta que estime o potencial de flexibilidade energético de um edifício, como resposta aos custos definidos pelo utilizador, sem que seja comprometido o nível de conforto térmico do mesmo. O potencial de flexibilidade energético poderá ser estimado para os valores de temperatura mínima e máxima de tolerância de conforto a que o utilizador se sujeita,

quanto maior esta tolerância menor os custos associados ao sistema de climatização (ar-condicionado). Posto isto a ferramenta funcionará com base na estratégia indireta referida anteriormente, e será necessária a definição da solução construtiva e respetivas condições de fronteira, pelo utilizador.

3 Ferramenta de Avaliação da Flexibilidade Energética - FFLEX

O potencial de flexibilidade energética de um edifício, no contexto deste trabalho, é dado pela agregação das flexibilidades introduzidas nos dispositivos de climatização presentes na mesma. Como metodologia de controlo da flexibilidade tem-se um princípio de previsão de tarifa elétrica e consumo de energia do edifício num horizonte temporal de 24 horas, onde a utilização de energia elétrica e de energia térmica são combinados.

Na rede elétrica de uma habitação a escolha da tarifa de eletricidade e da potência contratada são dois dos parâmetros nos quais o utilizador está envolvido na escolha, parâmetros que têm influência direta na utilização da flexibilidade energética e no custo final mensal.

Todavia, a potência a contratar depende das necessidades em termos de potência e número dos equipamentos instalados. Esta será mais elevada quanto maior o número de equipamentos em funcionamento em simultâneo e respetiva potência. Quanto maior a potência contratada, maiores os custos associados. Os escalões de potência contratada e a respetiva tarifa elétrica associada variam mediante o fornecedor. A potência contratada, é controlada por meio de um disjuntor regulado para a potência máxima contratada, que interrompe o fornecimento quando é atingido o seu valor máximo correspondente, em kVA. A escolha dum escalão mais baixo implica uma poupança no final do mês, todavia quanto menor for a potência contratada, maior será a limitação do uso simultâneo de equipamentos. Ao utilizar a flexibilidade energética existente no sistema, é possível diminuir a potência máxima aparente e por consequência diminuir o escalão de potência contratada, sem afetar o seu funcionamento.

No caso duma habitação, por norma, não é necessário contratar potências de eletricidade, iguais ou superiores a 41,4kVA. Com efeito, valores de potência contratada até 41,4kVA, correspondem a tarifas de baixa tensão normal. A tarifa de baixa tensão normal subdivide-se em tarifa simples, bi-horária e tri-horária [31]. A tarifa simples mantém-se constante ao longo dum período de 24h. Para uma tarifa bi-horária existem dois períodos horários (horas de vazio e horas fora do vazio), e para uma tarifa tri-horária existem três períodos horários (horas de vazio, horas de cheia e horas de ponta). Deste modo, a utilização de tarifas bi-horárias e tri-horárias permite conciliar a flexibilização energética do sistema de climatização com o custo da tarifa.

Para perceber o impacto causado pela alteração do comportamento dos utilizadores é fundamental a criação de uma ferramenta de avaliação da flexibilidade energética (FFLEX). A FFLEX poderá permitir ao utilizador caracterizar a habitação e os equipamentos, definir um *penalty signal* e escolher o distrito. Estes dados de entrada afetam a operação e/ou a capacidade de controlo da habitação. Com efeito, a solução construtiva de uma habitação é de extrema impor-

tância no cálculo da flexibilização do sistema de climatização. Todavia, não é o único fator relevante, o potencial de flexibilidade energética de uma habitação é também dependente das condições de fronteira e ocupação, que serão definidas pelo utilizador.

Deste modo, será elaborada uma ferramenta com recurso ao software Microsoft Excel cuja validação será posteriormente suportada por valores obtidos através do software EnergyPlus [2]. Uma vez definidos os dados de entrada da FFLEX, a utilização da flexibilidade energética do sistema de climatização (ar-condicionado) é executada em função dos valores de temperatura de conforto estipulados pelo utilizador e da tarifa de eletricidade escolhida. Com a utilização da flexibilidade energética do sistema de climatização, a FFLEX permitirá estimar os valores de potência mínima a contratar (em função do consumo horário total consumido), a tarifa de eletricidade mais adequada e o valor gasto pelo ar-condicionado hora a hora, quer na estação de aquecimento quer na de arrefecimento, assim como a potência ótima do ar-condicionado a adquirir.

Para flexibilizar o sistema de climatização (ar-condicionado), previamente, é necessário que se conheçam os valores de temperatura interior da habitação. A temperatura interior numa habitação é influenciada por vários fatores, como ilustra a Figura 3.1.

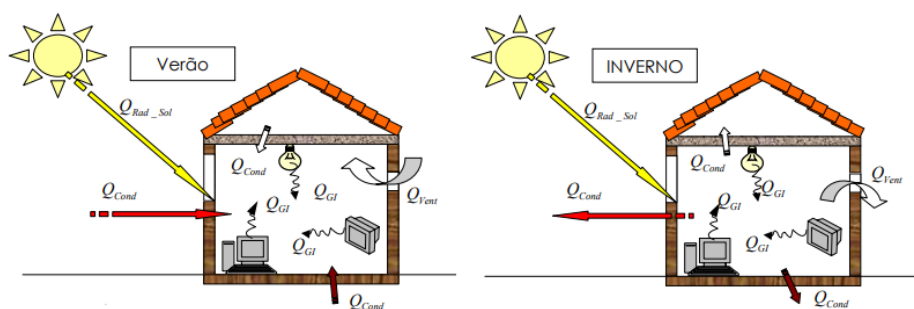


Figura 3.1: Balanço energético no edifício

Deste modo, a temperatura interior é influenciada pela temperatura exterior, pela radiação solar, pela ventilação, pela solução construtiva e respetivas área, e pelo calor libertado pelos equipamentos, iluminação e ocupação, no interior da habitação. A temperatura exterior (T_{ext}) varia consoante a estação do ano. Os ganhos térmicos brutos (Q_g) são definidos pela arquitetura e solução construtiva da habitação (3.2.2 - Módulo de Cálculo do Balanço Energético). Parte da energia gasta pelos equipamentos e iluminação, quando ativos, é transformada em calor, sendo esse calor traduzido em ganhos térmicos no interior da habitação, Q_{eq} e Q_{il} , respetivamente. Também o ser humano liberta calor, o que contribui para o aumento dos ganhos térmicos, Q_{oc} . Assim, os ganhos que contribuem para o aumento da temperatura interior da habitação são devidos aos equipamentos (Q_{eq}), à iluminação (Q_{il}), e à ocupação (Q_{oc}). Todavia, os ganhos no interior da habitação, Q_{eq} , Q_{il} e Q_{oc} , podem contribuir em maior ou menor medida para o aumento da temperatura interior da habitação em função da inércia térmica do edifício. Na FFLEX, o sistema de climatização (ar-condicionado), influenciado por todos estes fatores, é programado para entrar em funcionamento quando a temperatura no interior da habitação se afasta da temperatura de conforto definida pelo utilizador, como explicado no subcapítulo 3.2.3.

3.1 Diagrama de Casos de Uso

No subcapítulo que se segue será apresentado o diagrama de casos de uso, ilustrado na Figura 3.2. O diagrama apresenta duas vertentes distintas: a vertente da FFLEX e a vertente do utilizador.

Da vertente da FFLEX fazem parte três módulos: o módulo de inserção de dados, o módulo de cálculo do balanço energético e o módulo de utilização da flexibilidade energética. Da vertente do utilizador apenas fazem parte os módulos de inserção de dados e o módulo de utilização da flexibilidade energética.

Será enumerado de seguida, de modo abrangente, de que forma se concilia a vertente da FFLEX com a vertente do utilizador

Módulo de Inserção de dados (secção 3.2.1):

1. O utilizador define os dados de entrada e respetivas condições de controlo, necessários ao correto funcionamento da FFLEX;
2. Inseridos os dados, é feita uma análise dos mesmos que permite posteriormente o cálculo do balanço energético da habitação, por parte da FFLEX.

Módulo de Cálculo do Balanço Energético da Habitação (secção 3.2.2):

1. Primeiramente os dados inseridos são substituídos por parâmetros (e.g.: com a informação do distrito, definido pelo utilizador, a FFLEX retira o valor de I_{sol} e G_{sul});
2. Com os parâmetros definidos a FFLEX estima o valor da dissipação ou ganho de calor pela envolvente e vãos envidraçados;
3. A FFLEX estima os valores dos ganhos térmicos brutos, quer para a estação de arrefecimento quer de aquecimento;
4. O utilizador no módulo de inserção de dados define como condições de fronteira: os equipamentos; iluminação; ocupação; e respetivo horário normal de funcionamento e ocupação. A FFLEX analisa os fatores que atuam em simultâneo e estima o valor dos ganhos internos da habitação, hora a hora;
5. Para o cálculo do balanço energético fica em falta o valor de temperatura exterior que é definido desde logo pelo utilizador, no módulo de inserção de dados, para as datas em estudo.

Módulo de Utilização da Flexibilidade Energética (secção 3.2.3):

1. Com base nos valores do balanço energético da habitação é estimado o valor de temperatura interior sem recurso ao sistema de climatização;
2. Posteriormente é acionado o sistema de climatização de acordo com a temperatura de conforto definida pelo utilizador (módulo de inserção de dados);

3. À alteração do valor de temperatura sem sistema de climatização para uma temperatura com sistema de climatização é adicionada uma potência que corresponde à potência necessária ao funcionamento do sistema de climatização, hora a hora;
4. A FFLEX analisa o potencial de flexibilização do sistema com base nos valores de temperatura máximo e mínimo de temperatura interior, aceitável pelo utilizador, e no custo horário das tarifas de eletricidade;
5. A utilização da flexibilidade energética do sistema de climatização é executada com base no potencial de flexibilização do mesmo, e posteriormente é calculado o consumo energético necessária para o seu funcionamento;
6. Posteriormente, a FFLEX estima o valor da potência do sistema de climatização mínima, para cumprir as necessidades do utilizador, quer para a temperatura interior de conforto quer para a temperatura interior flexibilizada;
7. É estimado, ainda, o valor de potência aparente e respetiva potência “mínima a contratar”;
8. Por fim, a FFLEX estima o custo do consumo do sistema de climatização (horário, diário e mensal) e a poupança anual que se pode obter ao utilizar a flexibilidade energética do sistema.

Embora, no presente capítulo, se aborde o software EnergyPlus, este apenas serviu para validação da FFLEX e não como necessidade de utilização para se obterem os resultados da mesma.

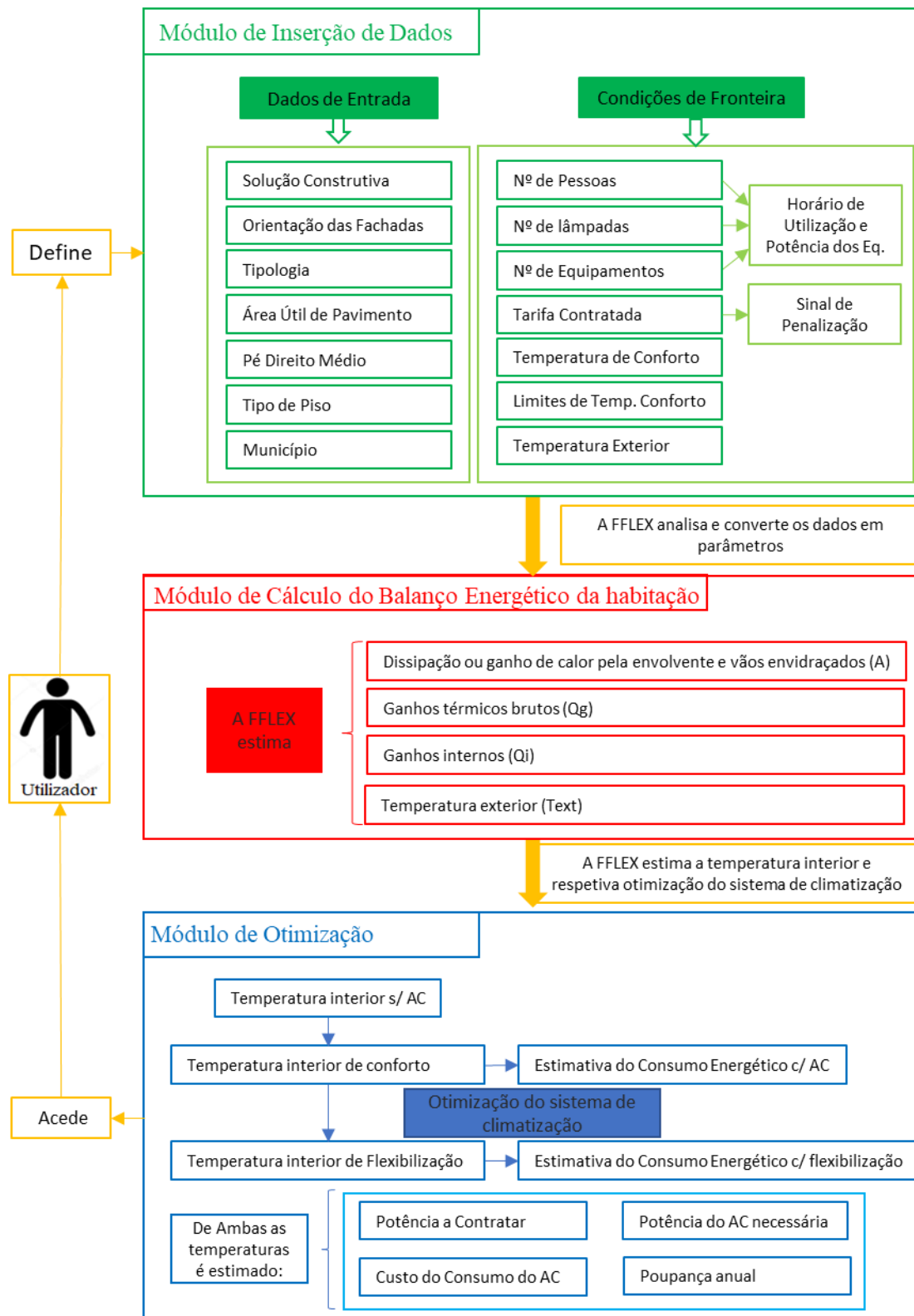


Figura 3.2: Diagrama de Casos de Uso

3.2 Módulos do Sistema

Os módulos de funcionamento da FFLEX, apresentados no diagrama de casos de uso, serão detalhados no presente subcapítulo. Deste modo, será apresentado o modo de funcionamento da FLEX de acordo com os seguintes módulos:

- Módulo de inserção de dados – Neste módulo serão definidos todos os dados de entrada e condições de fronteira necessários à utilização da flexibilidade energética do sistema de climatização.
- Módulo de cálculo do balanço energético do edifício - Neste módulo será explicado de que forma, com base nos dados de entrada e respetivas condições de fronteira definidas pelo utilizador, são calculados os ganhos térmicos brutos, a dissipação ou ganhos de calor pelas paredes e os ganhos internos horários, essenciais para o cálculo da temperatura no interior da habitação.
- Módulo de utilização da flexibilidade energética – Neste módulo serão estimados os valores de temperatura interior sem recurso ao sistema de climatização, de temperatura interior com base na temperatura de conforto e de temperatura interior otimizada, com recurso aos ganhos térmicos brutos, ganhos internos, temperatura exterior e dissipação ou ganhos de calor pelas paredes, estimados no módulo anterior. Será também apresentada a potência necessária ao funcionamento do sistema de climatização e respetivos custos.

3.2.1 Módulo de Inserção de Dados

Este módulo compreende apenas os dados de entrada da habitação e as condições de fronteira. O utilizador terá de definir as soluções construtivas referentes às paredes exteriores e vãos envidraçados, não sendo necessário definir as pontes térmicas e as soluções construtivas das paredes interiores, o que simplifica o seu modo de funcionamento. Uma vez que o utilizador define todos os dados de entrada da habitação e respetivas condições de fronteira, a utilização da flexibilidade energética é personalizada e adequada às necessidades do mesmo.

Na definição dos dados de entrada é necessário que o utilizador, mediante a habitação em estudo, defina a zona climática em que se insere, a tipologia, a área útil de pavimento e o pé-direito médio. É importante definir também o tipo de piso (e.g.: piso intermédio, superior, cave, se tem garagem por baixo, entre outros). Após a inserção das características básicas da habitação é necessário definir qual a orientação da mesma e quantas fachadas expostas ao sol/vento existem. A Tabela 3.1 ilustra de que forma serão introduzidos estes dados na FFLEX. No caso de uma habitação com dois pisos, estes serão estudados separadamente, uma vez que os tipos de piso podem ser distintos.

Tabela 3.1: Características da habitação

Informação Geral			
Localização	Grande Lisboa	▼	
Tipologia	T0	▲▼	
Area Util de Pavimento [m2]	9		
Pé Direito médio [m]	3		
Piso	<input checked="" type="checkbox"/> Intermédio	<input type="checkbox"/> superior	<input type="checkbox"/> Cave

Na definição da solução construtiva das paredes exteriores, inclui-se a determinação da espessura (e), e condutibilidade térmica (λ), de cada um dos materiais presentes, necessárias ao cálculo da resistência térmica (R). No caso de paredes com espaço de ar não ventilado, o espaço de ar toma valores de resistência térmica diferentes, consoante a sua espessura, como ilustra a Tabela A.1 [32]. O modo como os dados são inseridos na FFLEX está ilustrado na Tabela 3.2.

Tabela 3.2: Solução construtiva das envolventes e respetivas orientações

Parede exterior	Tipo de Parede?	Parede de Pano Duplo ▼	Cor	Clara (branco, creme, amarelo, laranja, verde) ▼	
	Materiais	Nome	Espessura (e [m])	Condutibilidade (λ [W/m.K])	R (m ² .K/W)
		reboco 2cm	0,02	1,3	0,02
		Alvenaria 15cm	0,15	0,39	0,38
		EPS 3cm	0,03	0,04	0,75
		Alvenaria 11cm	0,11	0,41	0,27
		reboco 2cm	0,02	1,3	0,02
	Orientação da fachada (preencher apenas para o caso de paredes expostas ao sol/vento)	Orientação	Comprimento [m]	Pé Direito Médio [m]	Área [m ²]
		N	-	-	-
		NE	-	-	-
		E	-	-	-
		SE	-	-	-
		S	3	3	9
		SW	-	-	-
		W	-	-	-
		NW	-	-	-

Quanto aos vãos envidraçados, terá de se identificar o nº de vidros, o tipo de vidro (espessura (e), e condutibilidade térmica (λ)), a presença de espaço de ar (espessura, e , e condutibilidade térmica (λ)), o material da caixilharia (Tabela A.2), e área total dos vãos envidraçados, tal como a área total das paredes exteriores. Na Tabela A.3, apresentam-se alguns exemplos de fatores solares de diversas soluções construtivas de vãos envidraçados. Ainda na caracterização da habitação define-se a cor das paredes de fachada (Tabela A.4), a existência ou não de sombreamento dos vãos envidraçados e o tipo de proteção dos vãos envidraçados (Tabela A.5) [33]. Para que a FFLEX funcione corretamente é necessário que o utilizador insira os dados como ilustrado na Tabela C.26.

Definidos os dados de entrada, é agora necessário que se definam as condições de fronteira. Estão incluídas nas condições de fronteira os ganhos no interior da habitação, tal como, o nº de

pessoas, nº de lâmpadas e os equipamentos que estão contidos na mesma. Todos os ganhos no interior estão associados a uma determinada potência. O utilizador poderá definir as potências de cada equipamento ou usar as potências predefinidas pela FFLEX, Tabela A.6. Uma pessoa sentada gasta 60W/m² e será este o valor considerado na utilização dos dados pela FFLEX, Tabela A.7 [8]. Os ganhos internos são introduzidos na FFLEX como ilustrado na Tabela C.27.

Como visto anteriormente a flexibilidade energética pode influenciar diretamente o valor de potência contratada e ser otimizada consoante o tipo de tarifa. Para o caso de estudo, a contratação duma tarifa simples não tem interesse uma vez que um dos objetivos da FFLEX é flexibilizar o sistema de climatização em função dos períodos de pico de procura e dos períodos de baixa procura da tarifa contratada. Ainda nesta fase de caracterização o utilizador poderá, ao caracterizar o tipo de tarifa contratada, estudar outras hipóteses de tarifas para uma melhor utilização da flexibilidade energética do seu sistema. Para que a utilização da flexibilidade energética se enquadre o mais possível com a realidade o utilizador terá de definir um horário diário padrão de utilização dos equipamentos e da presença de pessoas na habitação. O horário será introduzido na FFLEX como ilustra a Tabela 3.3, e está sujeito apenas a três períodos de fornecimento.

Tabela 3.3: Horário de Utilização dos Equipamentos e Ocupação

Horário habitual de utilização dos Equipamentos																		
Estação do Ano				Inverno									▼					
Período Semanal				Dias Úteis									▼					
Pessoa 1	Das:	9h	▼	Às:	18h	▼	Das:	--	▼	Às:	--	▼	Das:	--	▼	Às:	--	▼
Pessoa 2	Das:	9h	▼	Às:	18h	▼	Das:	--	▼	Às:	--	▼	Das:	--	▼	Às:	--	▼
Pessoa 3	Das:	--	▼	Às:	--	▼	Das:	--	▼	Às:	--	▼	Das:	--	▼	Às:	--	▼
Pessoa 4	Das:	--	▼	Às:	--	▼	Das:	--	▼	Às:	--	▼	Das:	--	▼	Às:	--	▼
Pessoa 5	Das:	--	▼	Às:	--	▼	Das:	--	▼	Às:	--	▼	Das:	--	▼	Às:	--	▼
Pessoa 6	Das:	--	▼	Às:	--	▼	Das:	--	▼	Às:	--	▼	Das:	--	▼	Às:	--	▼
Aparelhagem	Das:	9h	▼	Às:	18h	▼	Das:	--	▼	Às:	--	▼	Das:	--	▼	Às:	--	▼
Aspirador	Das:	--	▼	Às:	--	▼	Das:	--	▼	Às:	--	▼	Das:	--	▼	Às:	--	▼
Caldeira	Das:	--	▼	Às:	--	▼	Das:	--	▼	Às:	--	▼	Das:	--	▼	Às:	--	▼
Computador	Das:	9h	▼	Às:	18h	▼	Das:	--	▼	Às:	--	▼	Das:	--	▼	Às:	--	▼
Esquentador	Das:	--	▼	Às:	--	▼	Das:	--	▼	Às:	--	▼	Das:	--	▼	Às:	--	▼
Exaustor	Das:	--	▼	Às:	--	▼	Das:	--	▼	Às:	--	▼	Das:	--	▼	Às:	--	▼
Ferro de Engomar	Das:	--	▼	Às:	--	▼	Das:	--	▼	Às:	--	▼	Das:	--	▼	Às:	--	▼
Forno elétrico	Das:	--	▼	Às:	--	▼	Das:	--	▼	Às:	--	▼	Das:	--	▼	Às:	--	▼
Frigorífico	Das:	--	▼	Às:	--	▼	Das:	--	▼	Às:	--	▼	Das:	--	▼	Às:	--	▼
Impressora	Das:	9h	▼	Às:	18h	▼	Das:	--	▼	Às:	--	▼	Das:	--	▼	Às:	--	▼
Maq. de Café	Das:	--	▼	Às:	--	▼	Das:	--	▼	Às:	--	▼	Das:	--	▼	Às:	--	▼
Maq. Lavar Loiça	Das:	--	▼	Às:	--	▼	Das:	--	▼	Às:	--	▼	Das:	--	▼	Às:	--	▼
Maq. Lavar Roupa	Das:	--	▼	Às:	--	▼	Das:	--	▼	Às:	--	▼	Das:	--	▼	Às:	--	▼
Maq. Secar Roupa	Das:	--	▼	Às:	--	▼	Das:	--	▼	Às:	--	▼	Das:	--	▼	Às:	--	▼
Microondas	Das:	--	▼	Às:	--	▼	Das:	--	▼	Às:	--	▼	Das:	--	▼	Às:	--	▼
Placa Elétrica	Das:	--	▼	Às:	--	▼	Das:	--	▼	Às:	--	▼	Das:	--	▼	Às:	--	▼
Robot de cozinha	Das:	--	▼	Às:	--	▼	Das:	--	▼	Às:	--	▼	Das:	--	▼	Às:	--	▼
Secador de cabelo	Das:	--	▼	Às:	--	▼	Das:	--	▼	Às:	--	▼	Das:	--	▼	Às:	--	▼
Televisão	Das:	--	▼	Às:	--	▼	Das:	--	▼	Às:	--	▼	Das:	--	▼	Às:	--	▼
Iluminação	Das:	9h	▼	Às:	18h	▼	Das:	--	▼	Às:	8h	▼	Das:	--	▼	Às:	--	▼

Embora as condições de conforto padrão da temperatura do ar interior, para um ser humano, sejam de 20°C na estação de aquecimento e 25°C na estação de arrefecimento, cada utilizador poderá definir a temperatura de conforto que melhor se adapta e a margem máxima e mínima de temperatura aceitável, quer na estação de aquecimento quer na estação de arrefecimento, pois nem

todas as pessoas se sentem confortáveis nas mesmas condições. Deste modo, os valores de temperatura de conforto e aceitável pelo utilizador deverão ser definidos na FFLEX, como ilustra a Tabela 3.4. Por fim, deverá ser definida a temperatura exterior horária do período em análise.

Tabela 3.4: Temperatura de conforto

Temperatura de Conforto (°C)		Temperatura Mínima admissível (°C)		Temperatura Máxima admissível (°C)	
Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão
18	25	16	23	20	27

3.2.2 Módulo de Cálculo do Balanço Energético

Para que não haja necessidade de utilização de outro software para se atingir os objetivos propostos, é necessária a formulação de uma equação de temperatura interior. Sabe-se que o calor que se gera no interior de uma habitação é proveniente da temperatura exterior, (Text), dissipação ou ganho de calor pelas paredes, (A), ganhos térmicos brutos, (Qg), e ganhos internos, (Qeq, Qil e Qoc). Deste modo, no módulo de cálculo do balanço energético é necessário que através dos dados de entrada e condições de fronteira, definidas anteriormente, se calculem os dados necessários ao cálculo da temperatura interior.

Como referido no módulo de inserção de dados, os valores de temperatura exterior horários, para o período em análise, são definidos pelo utilizador. Como tal, estes serão utilizados diretamente para o cálculo de temperatura interior, como demonstrado mais adiante, no módulo de utilização da flexibilidade energética.

Para o cálculo da dissipação ou ganhos de calor pelas paredes, (A), é fundamental que o utilizador tenha definido: anteriormente a área das envolventes (Ap) e vãos envidraçados (Av); a espessura (e) e a condutibilidade térmica (λ) de cada material ou a respetiva resistência térmica (R); a área de pavimento (Apav) e a altura de pé direito média (Pdm). Deste modo, é possível que a FFLEX processe esta informação e calcule o valor de dissipação ou ganho de calor pelas paredes (A), Equação (1). Os cálculos são executados na FFLEX, como demonstra a Tabela D.29 e Tabela D.30

$$A = \sum(Ap * Up) + \sum(Av * Uv) + Hve \text{ [W/°C]} \quad (1)$$

Em que Up e Uv representam o coeficiente de transmissão térmica superficial da parede e do vão envidraçado, respetivamente, e Hve representa o coeficiente de transferência de calor por ventilação.

Para o cálculo do coeficiente de transferência de calor por ventilação (Hve), tem de se ter em consideração a área útil de pavimento da habitação (Ap), a altura de pé direito médio (Pdm), e a taxa nominal de renovação de ar (Rph), que difere do inverno para o verão, Equação (2). A taxa nominal de renovação de ar de inverno, Rph,i, adotada será de 0,4 e 0,6 para o verão, Rph,v.

$$Hve = 0,34 * Rph * Ap * Pdm \text{ [W/°C]} \quad (2)$$

Calculada a dissipação ou ganho de calor pelas paredes (A), a FFLEX avança para o procedimento de cálculo dos ganhos térmicos brutos (Qg). O cálculo dos ganhos térmicos brutos da estação de aquecimento (Qgi) são executados de modo distinto dos ganhos térmicos brutos da estação de arrefecimento (Qgv). Deste modo, o procedimento de cálculo para cada estação do ano será demonstrado separadamente, tendo início no cálculo dos ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento e só posteriormente na estação de arrefecimento. Todavia para ambas as estações, para se obter o valor dos ganhos térmicos brutos (Qg) é necessário que se calculem os ganhos solares brutos (Qsol) e os ganhos internos (Qint), Equação (3).

$$Qg = Qsol + Qint \text{ [kWh/ano]} \quad (3)$$

Por motivos de simplificação os ganhos solares foram considerados constantes quer na estação de aquecimento quer na estação de arrefecimento.

Ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento

Como já referido, para o cálculo dos ganhos térmicos brutos (Qg) é necessário o cálculo dos ganhos solares brutos (Qsol) e dos ganhos internos (Qint). Na estação de aquecimento, para o cálculo dos ganhos solares brutos (Qsol,i) é fundamental que o utilizador tenha definido: o distrito; o material da caixilharia; a solução construtiva; a orientação e a área do vão envidraçado. Para o cálculo dos ganhos internos na estação de aquecimento (Qint,i) o utilizador terá de ter definido a área útil de pavimento.

Com efeito, a equação dos ganhos solares brutos (Qsol,i) é definida em seguida, Equação (4).

$$Qsol,i = G_{sul} * A_{s, isul} * M \text{ [kWh|ano]} \quad (4)$$

Em que G_{sul} representa a radiação média incidente num envidraçado a sul, $A_{s, isul}$ representa a área efetiva total equivalente numa orientação a sul e M representa a duração da estação de aquecimento em meses, Tabela A.9. O valor da radiação média incidente num envidraçado a sul (G_{sul}) é tabelado e depende do distrito onde se localiza a habitação, Tabela A.9.

A área efetiva total equivalente numa orientação a sul ($A_{s, isul}$) representa o somatório de todas as áreas efetivas, $A_{s, i}$, afetadas pelo fator de orientação dos respetivos vãos envidraçados, X_j (Tabela A.10), Equação (5) [35].

$$A_{s, isul} = \sum X_j * A_{s, i} \text{ [m}^2\text{]} \quad (5)$$

Todavia, o cálculo da área efetiva ($A_{s, i}$) depende de vários fatores, Equações (6), (7) e (8).

$$A_{s, i} = A_v * F_s * F_g * g_i \text{ [m}^2\text{]} \quad (6)$$

Em que A_v representa a área do vão envidraçado, F_s representa o fator de obstrução dos vãos envidraçados, F_g representa valores da fração envidraçada em função da caixilharia adotada (Tabela A.11) e g_i representa o fator solar dos vãos envidraçados na estação de aquecimento [33].

O fator de obstrução dos vãos envidraçados (F_s) surge devido ao sombreamento permanente dos mesmos, causado por diferentes obstáculos, nomeadamente obstruções exteriores ao edifício (e.g.: outros edifícios, orografia, vegetação) e/ou obstruções criadas por elementos do edifício (e.g.: corpos do mesmo edifício, palas, varandas, e elementos de enquadramento do vão externos à caixilharia), em que se verifica uma diminuição da incidência da radiação solar, Equação (7). O fator de obstrução dos vãos envidraçados (F_s), afetados pelo fator de sombreamento do horizonte por obstruções exteriores ao edifício ou por outros elementos do edifício (F_h), (Tabela A.12), pelo fator de sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes ao envidraçado, compreendendo palas horizontais, outros corpos ou palas do edifício (F_o), (Tabela A.13), e por fim, pelo fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado, compreendendo palas verticais, outros corpos ou partes de um edifício (F_f), (Tabela A.14). A FFLEX adota um ângulo de horizonte de 45° [33].

$$F_s = F_h * F_o * F_f \quad (7)$$

Para efeito de cálculo do fator solar dos vãos envidraçados na estação de aquecimento (g_i), consideram-se os dispositivos de proteção solar móveis totalmente abertos, de modo a maximizar o aproveitamento da radiação solar. Na ausência de dispositivos de sombreamento, o fator solar é igual ao fator solar para uma incidência solar normal ($g_{\perp,vi}$), Tabela A.15, afetado pelo fator de seletividade angular, F_{wi} , igual a 0,9 na estação de aquecimento, Equação (8) [33].

$$g_i = F_{w,i} * g_{\perp,vi} \quad (8)$$

Por fim, os ganhos internos ($Q_{int,i}$) variam de acordo com o distrito e o valor de área útil de pavimento (A_{pav}), Equação (9). Os ganhos internos médios, q_{int} , tomam o valor de $4W/m^2$, [35].

$$Q_{int,i} = 0,72 * q_{int} * M * A_{pav} [kWh/ano] \quad (9)$$

Obtidos todos os resultados anteriores, a FFLEX está em condições de estimar o valor os ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento ($Q_{g,i}$), Equação (10). Na Tabela D.31 é ilustrado o procedimento de cálculo da FFLEX, para se alcançarem os resultados pretendidos.

$$Q_{g,i} = Q_{sol,i} + Q_{int,i} [kWh/ano] \quad (10)$$

Ganhos térmicos brutos na Estação de Arrefecimento

Como referido, o cálculo dos ganhos térmicos brutos da estação de aquecimento ($Q_{g,i}$) são distintos dos cálculos dos ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento ($Q_{g,v}$). Como tal, de seguida serão demonstrados os passos necessários ao cálculo dos ganhos Térmicos brutos na estação de arrefecimento ($Q_{g,v}$). Na estação de arrefecimento, para o cálculo dos ganhos solares brutos ($Q_{sol,v}$) é essencial que o utilizador tenha definido o distrito, fatores referentes aos vãos envidraçados (e.g.: o tipo de proteções do vão envidraçado, a orientação e áreas dos mesmos)

assim como fatores referentes às envoltentes (e.g.: a cor da envoltente, a espessura (e), a condutibilidade térmica (Δ), orientação e áreas das envoltentes). Para o cálculo dos ganhos internos na estação de arrefecimento ($Q_{int,v}$) o utilizador terá de ter definido a área útil de pavimento.

Para o cálculo dos ganhos solares brutos na estação de arrefecimentos ($Q_{sol,v}$) é necessário considerar os ganhos solares brutos de verão, quer dos vãos envidraçados exteriores quer das envoltentes opacas exteriores, Equação (11).

$$Q_{sol,v} = \sum Q_{sol,v}(\text{vãos env.}) + \sum Q_{sol,v}(\text{envoltentes op.}) \quad (11)$$

Com efeito, a equação dos ganhos solares brutos dos vãos envidraçados ($Q_{sol,v \text{ vãos env.}}$) é definida em seguida, Equação (12). Em que I_{sol} representa a intensidade da radiação, $A_{s,v}$ representa a área efetiva e $F_{s,v}$ representa o fator de obstrução na estação de arrefecimento. O valor da intensidade da radiação (I_{sol}) é tabelado e depende do distrito onde se localiza a habitação (Tabela A.16), e corresponde à energia solar acumulada durante a estação de arrefecimento, recebida na horizontal (inclinação 0°) e em superfícies verticais (inclinação 90°), de acordo com a orientação de cada parede exterior [36].

$$Q_{sol,v}(\text{vãos env.}) = I_{sol} * F_{s,v} * A_{s,v} \quad (12)$$

Tal como na estação de aquecimento o fator de obstrução ($F_{s,v}$) depende do fator de sombreamento do horizonte por obstruções exteriores ao edifício ou por outros elementos do edifício ($F_h = 1$), do fator de sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes ao envidraçado, compreendendo palas horizontais, outros corpos ou palas do edifício (F_o), Tabela A.17, e por fim do fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado, compreendendo palas verticais, outros corpos ou partes de um edifício (F_f) Tabela A.18, embora estes tenham valores diferentes para a estação de arrefecimento, Equação (13). A FFLEX adotará automaticamente um ângulo de horizonte de 45° [33].

$$F_s = F_h * F_o * F_f \quad (13)$$

A área efetiva ($A_{s,v}$) depende da área do vão envidraçado (A_v), da fração envidraçada (F_g) Tabela A.11, e do fator solar de verão (g_v), Equação (14). Por sua vez, o fator solar de verão (g_v), é afetado pela fração de tempo das proteções móveis ativas ($F_{m,v}$), Tabela A.19, pelo fator solar global de proteções móveis e permanentes (g_T), e pelo fator solar global de proteções permanentes ($g_{Tp} = 0,5 * F_{w,v}$, Tabela A.20), Equação (15). O fator solar global de proteções permanentes (g_T) depende do tipo de vidro, simples (Equação (16)) ou duplo (Equação (17)). Em que $g_{\perp,vi}$ representa o fator solar do vidro para uma incidência solar normal (Tabela A.15) e g_{Tvc} representa os valores correntes do fator solar de vãos envidraçados com vidro corrente e dispositivos de proteção solar (Tabela A.21).

$$A_{s,v} = A_w * F_g * g_v [m^2] \quad (14)$$

$$g_v = F_{m,v} * g_T + (1 - F_{m,v}) * g_{Tp} \quad (15)$$

$$g_T = g_{\perp,vi} * \prod_t \frac{g_{Tvc}}{0,85} \quad (16)$$

$$gT = g_{+,vi} * \prod_t \frac{gTvc}{0,75} \quad (17)$$

Para finalizar o cálculo dos ganhos solares brutos na estação de arrefecimento ($Q_{sol,v}$) é necessário definir os parâmetros envolvidos no calculo dos ganhos solares brutos da envolvente opaca ($Q_{sol,v,env.op}$), Equação (18).

$$Q_{sol,v}(envolvente op.) = I_{sol} * F_s * A_s [kWh|ano] \quad (18)$$

Em que I_{sol} representa a intensidade da radiação (Tabela A.16), F_s representa o fator de obstrução das envolventes opacas e se calcula de acordo com a Equação (13) e A_s representa a área efetiva da envolvente opaca (Equação (19)).

O cálculo da área efetiva da envolvente opaca (A_s), envolve o coeficiente de absorção (α) Tabela A.22, a área das envolventes opacas (A_{op}), o coeficiente de transmissão térmica das envolventes exteriores (U) Equação (3), e a resistência superficial exterior (R_{se}), Equação (19).

$$A_s = \alpha * A_{op} * U * R_{se} [m^2] \quad (19)$$

Por fim, para que o cálculo dos ganhos térmicos brutos da estação de arrefecimento ($Q_{g,v}$) esteja completa (Equação (20)), é essencial que o utilizador tenha definido área do pavimento (A_{pav}), para que a FFLEX processe os dados e calcule, anteriormente os ganhos internos na estação de arrefecimento (Q_{int}), Equação (21). Para o cálculo dos ganhos internos, $Q_{int,v}$, adota-se novamente $4W/m^2$ como valor dos ganhos internos médios (q_{int}), e a duração da estação de arrefecimento é dada em horas (L_v), com o valor de 2928 horas (o que equivale a 4,07 meses), [35]. O procedimento de cálculo Executado pela FFLEX é ilustrado na Tabela D.32

$$Q_{g,v} = Q_{sol,v} + Q_{int,v} [kWh/ano] \quad (20)$$

$$Q_{int,v} = \frac{q_{int} * L_v * A_{pav}}{1000} [kWh/ano] \quad (21)$$

Terminados os cálculos dos ganhos térmicos brutos (Q_g), quer da estação de aquecimento quer da estação de arrefecimento, inicia-se agora a demonstração dos ganhos internos (Q_i). Estes dependem dos equipamentos, nº de pessoas, nº de luzes, horário de utilização ou de presença de pessoas. Consoante o horário definido pelo utilizador, será efetuado um somatório, hora a hora, do consumo de energia de todos os equipamentos (Q_{eq}), e luzes (Q_{il}). em funcionamento e da presença de pessoas (Q_{oc}), presente na Equação (22). Em que t corresponde ao valor total dos ganhos atuais e de uma percentagem dos ganhos acumulados nas paredes na hora anterior, em função da inercia térmica.

$$Q_i(t) = \sum Q_{eq}(t) + \sum Q_{il}(t) + \sum Q_{oc}(t) [W] \quad (22)$$

3.2.3 Módulo de Utilização da Flexibilidade Energética

Na presente secção será apresentado o método de estimativa da evolução da temperatura interior. Estimado o valor de temperatura interior da habitação será executada uma otimização do funcionamento do sistema de climatização.

Obtidos os valores da temperatura exterior (Text); da dissipação ou ganho de calor pelas paredes (A); dos ganhos térmicos brutos (Qg) e dos ganhos internos (Qi) que influenciam o cálculo da equação de temperatura interior, é possível estimar o valor da mesma. Será detalhado de seguida o método utilizado para obtenção da evolução da temperatura interior, que obteve a sua validação com recurso ao software EnergyPlus, referenciado no próximo capítulo, Capítulo 4.

Como no inverno se pretende fornecer calor para manter as condições de conforto, a abordagem será distinta da situação de verão quando se pretende retirar calor para manter as condições de conforto. Deste modo, apresentam-se nas Equações (23) e (24) as expressões de cálculo da temperatura interior na estação de aquecimento e arrefecimento, respetivamente.

$$cv * Mvc * T'(t_n) = A * (T - \Phi 1(t_{n-1})) + \Phi 2(t) \quad (23)$$

$$cv * Mvc * T'(t_n) = A * (\Phi 1(t_{n-1}) - T) + \Phi 2(t) \quad (24)$$

Em que $T'(t)$ representa a variação de temperatura em função do tempo, c_v representa o calor específico do ar a volume constante, Mvc representa a massa específica do ar, A representa a dissipação ou ganho de calor pelas envolventes e vãos envidraçados (definida pela Equação (1)), $\Phi 1(t_{n-1})$ representa a temperatura exterior, $\Phi 2$ representa os ganhos internos.

Em alternativa aos valores de temperatura exterior definidos diretamente pelo utilizador, é possível adaptar uma equação periódica que se aproxima dos valores reais de temperatura exterior ($\Phi 1$). A equação de temperatura exterior ($\Phi 1$) é uma função periódica regular afeta a um período de 24h que se aproxima dos valores de temperatura exterior reais (Text), como se irá verificar no Capítulo 5. Esta equação é uma função que corresponde a um desenvolvimento da série Fourier. Para o seu cálculo apenas é necessário saber qual a temperatura exterior máxima diária (Tmax), a temperatura exterior mínima diária (Tmin), e a hora de temperatura máxima diária (tmax), Equação (25):

$$\Phi 1 = \frac{(Tmax+Tmin)}{2} + \frac{(Tmax-Tmin)}{2} * \sin\left(\frac{\pi}{12} * (t - tmax) + \frac{\pi}{2}\right) \quad (25)$$

Para que haja flexibilização de um sistema é necessário considerar-se a inercia térmica do mesmo. A inercia térmica é a capacidade de um elemento armazenar calor na sua estrutura e só o libertar ao fim de um certo tempo [37]. Nas presentes equações de temperatura interior considera-se a inercia térmica em dois parâmetros distintos. Primeiramente a temperatura exterior afeta ao período n é a temperatura do período $(n-1)$. Em segundo lugar o $\Phi 2$ é afetado pelos ganhos brutos e os ganhos no interior da habitação. Uma vez que os ganhos no interior da habitação geram calor e acumulação de calor, têm de ser considerados no período (n) , e uma percentagem no período $(n-1)$ em função da inercia térmica do edifício, Equação (31).

$$\dot{Q}2 = Q_{i_n} + Q_{i_{(n-1)}} * \frac{\alpha}{4.2} + Q_g * \frac{10^3}{365} \quad [W] \quad (26)$$

Em que Q_i representa os ganhos internos (Equação (22)), Q_g representa o valor dos ganhos térmicos brutos da estação em estudo (Equação (10) ou (20)) e α é o parâmetro que traduz a influência da classe de inércia térmica.

O parâmetro α é função da classe de inércia térmica do edifício, sendo igual a um dos seguintes valores:

- i. 1,8 - Correspondente a edifícios com inércia térmica fraca [W/°C];
- ii. 2,6 - Correspondente a edifícios com inércia térmica média [W/°C];
- iii. 4,2 - Correspondente a edifícios com inércia térmica forte [W/°C];

A equação da temperatura interior é derivada em função do tempo (t), surgindo uma constante, C. Para se retirar o valor da constante, C, igualou-se o tempo a zero e obteve-se uma temperatura inicial, T_0 , para um período de 24h.

Analizadas as equações de temperatura interior (Equações (23) e (24)) formuladas para cumprir os objetivos propostos no presente trabalho, é possível proceder à otimização do sistema de climatização (ar-condicionado).

Para a utilização da flexibilidade energética do sistema de climatização (ar-condicionado) inicialmente não se considera o sistema de climatização ativo no cálculo da temperatura interior. Conseguídos os valores de temperatura interior sem intervenção do sistema de climatização (Caso 1), consideram-se dois outros casos (Caso 2 e Caso 3) em que o sistema de climatização poderá estar ativo, Tabela 3.5. Primeiramente, no Caso 2, é definido um intervalo de temperatura interior que pode variar entre $\pm 0,6^\circ\text{C}$ da temperatura de conforto estipulada pelo utilizador. Para o Caso 3 definiu-se que a temperatura poderia variar entre a temperatura máxima e mínima aceitável pelo utilizador, sem que nunca, num intervalo de uma hora, houvesse uma variação de temperatura superior a $\pm 0,6^\circ\text{C}$, permitindo desta forma flexibilizar o sistema de climatização em função do custo da tarifa.

Tabela 3.5 – Condições Gerais dos Casos de Estudo de Temperatura Interior

	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Sistema de climatização	Desativo	Ativo	Ativo
Ganhos internos	Q_g e Q_i	Q_g , Q_i e Sistema de Climatização	Q_g , Q_i e Sistema de Climatização
Temperatura interior	Temperatura Interior Real	entre $\pm 0,6^\circ\text{C}$ Temperatura de conforto	entre a Temperatura Máxima e Mínima aceitável
Alterações de temperatura horárias superiores a $\pm 0,6^\circ\text{C}$	Sim	Não	Não
Flexibilização do Sistema de climatização	Não	Não	Sim
Afeta pelo Custo da Tarifa	Não	Não	Sim

Uma vez que para o Caso 1 não há ativação do sistema de climatização, para o cálculo da temperatura interior ($T_{\text{int s/ AC}}$) apenas se contabilizam como ganhos internos (Q_{int}) os ganhos térmicos brutos (Q_g) e a geração de calor no interior da habitação (Q_i) oriunda da ocupação, equipamentos e iluminação, definidos pelo utilizador, hora a hora. Definidos os dados de entrada e a temperatura exterior, os restantes fatores necessários ao cálculo da equação de temperatura interior ($T_{\text{int s/ AC}}$) mantêm-se constantes, Equações (23) e (24).

Para maior uma compreensão do procedimento de cálculo estabelecido para o Caso 2 e Caso 3 serão enumeradas de seguida as regras que os contemplam.

Caso 2:

1. Para a temperatura interior da primeira hora em análise começa por se verificar se o valor estimado de temperatura sem ativação do sistema de ar-condicionado ($T_{\text{int s/ AC}}$) do Caso1 é igual ao valor de temperatura de conforto definida pelo utilizador;
2. Se o valor de $T_{\text{int s/ AC}}$ da primeira hora em análise diferir do valor de temperatura de conforto, ativa-se o sistema de climatização para que se atinja a temperatura de conforto, o valor de temperatura de conforto fica definido como o valor da temperatura de flexibilização ($T_{\text{flex}(n)}$);
3. Se o valor de $T_{\text{int s/ AC}}$ da primeira hora em análise for igual à temperatura de conforto, não há necessidade do sistema ativação do sistema de climatização, deste modo o valor de temperatura de flexibilização ($T_{\text{flex}(n)}$) toma o valor da $T_{\text{int s/ AC}}$;
4. Ao ativar o sistema de climatização dá-se um aumento dos ganhos internos (Q_{int}), tornando necessário o cálculo de novos ganhos internos para a primeira hora em análise;
5. Uma vez que, os ganhos internos (Q_{int}) têm influência na energia acumulada nas paredes da habitação, é necessário recalcular o valor de temperatura interior da hora seguinte (T_{depois});
6. Se a T_{depois} estiver dentro do intervalo de temperatura de conforto $\pm 0,6^\circ\text{C}$, assume-se como nova temperatura de flexibilização ($T_{\text{flex}(n+1)}$) a temperatura da hora seguinte T_{depois} , sem necessidade de ativação do sistema de climatização para a hora em estudo;
7. No caso da temperatura T_{depois} calculada não se encontrar no intervalo de temperatura de conforto $\pm 0,6^\circ\text{C}$, a $T_{\text{flex}(n+1)}$ toma o valor da temperatura de conforto e há necessidade de ativar o sistema de ar-condicionado para se atingir essa temperatura;
8. A partir dos valores considerados para a T_{flex} calculam-se os valores dos ganhos internos de conforto (Q_{conf}), por meio de uma iteração.
9. Para o cálculo das restantes 22h do dia em análise repetem-se os procedimentos de 4. a 9.;
10. Cada vez que se inicie um novo dia, os procedimentos a adotar são desde o 1. a 9..

A temperatura da hora seguinte, T_{depois} , corresponde à temperatura que seria esperada caso o sistema de climatização seja desativado na hora seguinte, e que devido à inércia térmica do

edifício difere em relação ao valor de temperatura interior calculado sem ativação do sistema de climatização, uma vez que houve ativação do mesmo na hora anterior. Devido à inércia Térmica a necessidade de consumo do sistema de climatização da hora seguinte é menor.

Relativamente aos $\pm 0,6^{\circ}\text{C}$, considerou-se estes valores pois como mencionado em 2.1- Conforto Térmico, detetou-se uma aceitação térmica das pessoas, acima dos 80%, quando sujeitas a um período de oito horas com alterações de $0,6^{\circ}\text{C}$ por hora.

Na Figura 3.3. é ilustrado um digrama com os procedimentos presentes no Caso 2.

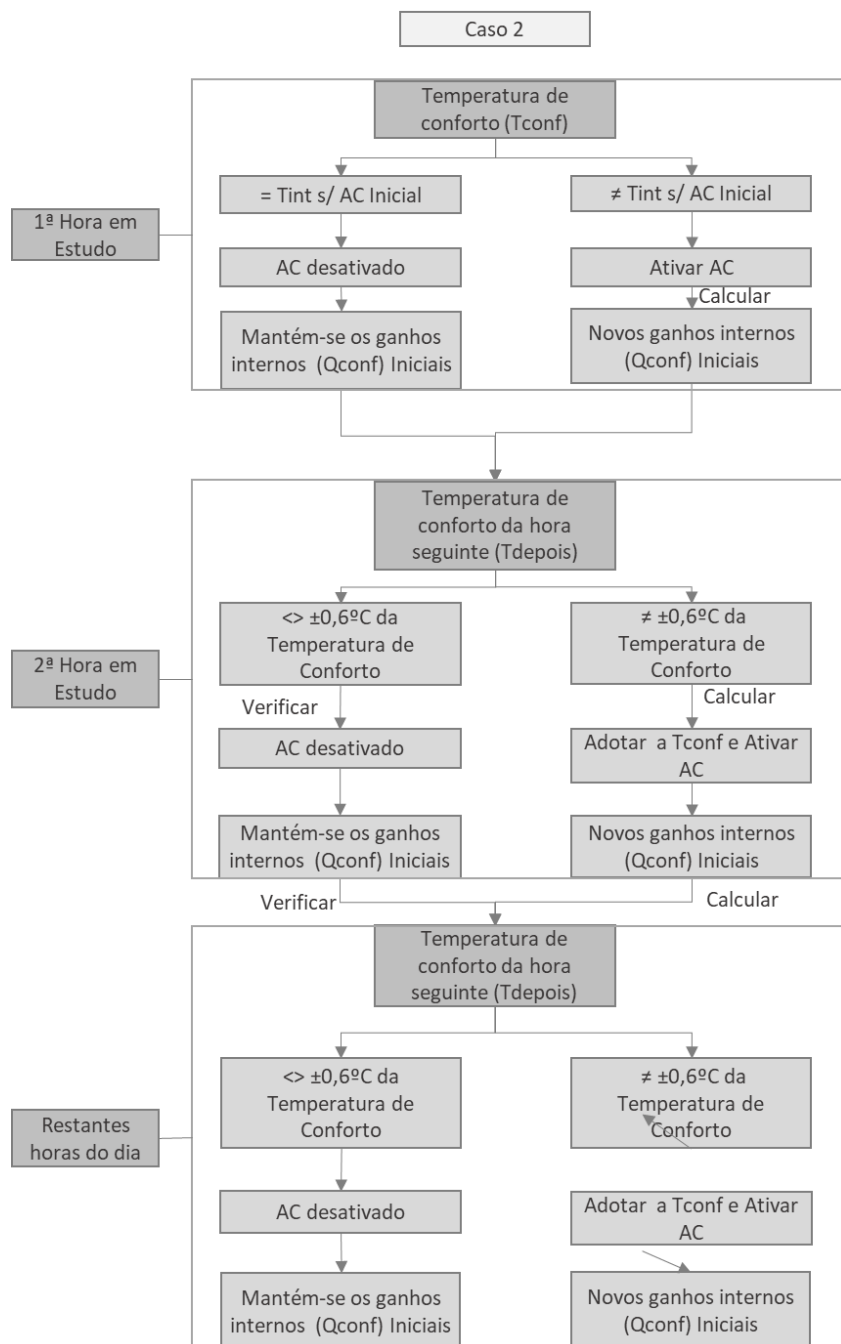


Figura 3.3: Caso 2 – Processo de Cálculo da Temperatura de conforto

Posto isto, é possível aferir qual a potência de ar-condicionado necessária para a hora em estudo. Para tal, é necessário que aos ganhos internos de conforto (Q_{conf}), se retirem os ganhos internos brutos (Q_g), e a potência associada aos ganhos no interior da habitação (Q_i) aferidos anteriormente, quer para a estação de arrefecimento quer de aquecimento.

Todavia, sempre que o valor dos ganhos internos de conforto (Q_{conf}) for distinto do valor dos ganhos internos (Q_{int}) calculados anteriormente sem o sistema de climatização, significa que foi ativado o sistema de climatização, e este nunca pode ter um valor inferior ao valor dos ganhos internos (Q_{int}), quando calculada a potência necessária para o sistema de climatização. Caso o valor dos ganhos internos de conforto (Q_{conf}) seja inferior ao valor dos ganhos internos (Q_{int}), significa que o sistema de climatização está a arrefecer o ambiente interior e que o valor dos ganhos internos de conforto (Q_{conf}) tem de ser ajustado. Nesta situação, para se obter o valor real dos ganhos internos de conforto (Q_{conf}) é necessário que se somem duas vezes os ganhos internos (Q_{int}) e se subtraia o valor dos ganhos internos de conforto (Q_{conf}) obtidos anteriormente. Todavia, para o cálculo da temperatura da hora seguinte (T_{depois}), no caso de arrefecimento do ambiente interior, são utilizados os primeiros valores de ganhos internos de conforto (Q_{conf}) obtidos. O mesmo procedimento é executado para o Caso 3, no cálculo dos ganhos internos de flexibilização (Q_{flex}), explicado de seguida.

Caso 3:

1. A utilização da flexibilidade energética do sistema de climatização depende do potencial de flexibilidade energética que pode ser aplicado ao sistema em função da temperatura máxima e mínima aceitáveis e do período de pico de procura e de baixa procura;
2. No caso de necessidade de arrefecimento do interior da habitação os valores de temperatura variam entre a temperatura máxima aceitável e a temperatura de conforto;
3. No caso de necessidade de aquecimento do interior da habitação os valores de temperatura variam entre a temperatura de conforto e a temperatura mínima aceitável;
4. Para o caso de uma tarifa bi-horária, esta tem horas de vazio e horas fora de vazio. As horas de vazio são as horas de custo de tarifa mínima e as horas fora de vazio são as horas de custo de tarifa máxima. A tarifa tri-horária tem três custos distintos, hora de vazio (custo de tarifa mínima), hora de ponta (custo de tarifa máxima) e hora de cheia (custo de tarifa média);
5. O principal objetivo será deslocar ou reduzir os gastos inerentes ao funcionamento do sistema de climatização nas horas de ponta;
6. A temperatura adotada para a primeira hora em estudo depende do custo de tarifa horária (custo de tarifa mínima, custo de tarifa médio e custo de tarifa máximo);

7. Todavia, se a estimativa da temperatura interior da primeira hora em análise, calculada no Caso 1, estiver entre o intervalo de temperatura mínima e máxima aceitáveis, assume-se como temperatura de flexibilização a ($T_{flex(n)}$) a temperatura T_{int} s/ AC(n);
8. Custo de tarifa mínima ou máxima: no caso da temperatura interior sem sistema de climatização da primeira vez em estudo não pertença ao intervalo de temperatura mínima/máxima aceitável e temperatura de conforto, assume-se como $T_{flex(n)}$ o valor de temperatura máxima ou mínima aceitável, consoante o valor de T_{int} s/ AC(n) se encontre mais próximo, de modo a minimizar os custos associados ao sistema de climatização;
9. Custo de tarifa média: no caso da temperatura interior sem sistema de climatização da primeira em análise (T_{int} s/ AC(n)) não pertença ao intervalo de temperatura mínima/máxima aceitável e temperatura de conforto, assume-se como $T_{flex(n)}$ o valor de temperatura de conforto, definida pelo utilizador. De modo a acumular calor nas paredes, uma vez que o custo horário de tarifa média antecede sempre o custo de tarifa máxima;
10. Se na primeira hora em análise o valor de $T_{flex(n)}$ for diferente do valor de T_{int} s/ AC(n) há necessidade de ativar o sistema de climatização, para que se atinja a temperatura pretendida;
11. Se o sistema foi ativado é necessário recalcular os ganhos internos (Q_{int}), para se obter os ganhos internos de flexibilização (Q_{flex});
12. Uma vez que, os ganhos internos ($Q_{flex(n)}$) têm influência na energia acumulada nas paredes da habitação, é necessário recalcular o valor de temperatura interior da hora seguinte (T_{depois});
13. Nas restantes horas em análise a T_{depois} tem de cumprir os requisitos, para que não haja necessidade de ativação do sistema de climatização: primeiramente tem de estar entre o intervalo de temperatura máxima/mínima aceitável e a temperatura de conforto e em segundo lugar não pode haver discrepância entre o valor da temperatura da hora anterior e da hora seguinte, respetivamente, superior a 0,6°C.
14. Não sendo cumprida uma das condições anteriores é necessária a ativação do sistema de climatização. Se a T_{depois} se encontrar dentro do intervalo de temperatura máxima/mínima aceitável e a temperatura de conforto mas o seu valor seja superior a 0,6°C da temperatura anterior ou da temperatura seguinte calculadas, assume-se como temperatura de flexibilização ($T_{flex(n+1)}$) o valor obtido para a temperatura de flexibilização da hora anterior ($T_{flex(n)}$);
15. Custo de tarifa mínima ou máxima: no caso da T_{depois} não pertencer ao intervalo de temperatura mínima/máxima aceitável e temperatura de conforto, assume-se como $T_{flex(n+1)}$ o valor de temperatura máxima aceitável ou mínima aceitável, consoante o valor de T_{depois} se encontre mais próximo, de modo a minimizar os custos associados ao sistema de climatização;

16. Custo de tarifa média: No caso da T_{depois} não pertencer ao intervalo de temperatura mínima/máxima aceitável e temperatura de conforto, assume-se como $T_{\text{flex}(n+1)}$ o valor de temperatura de conforto, definida pelo utilizador. De modo a acumular o máximo de calor nas paredes, uma vez que o custo horário de tarifa média antecede sempre o custo de tarifa máxima;
17. Definida a $T_{\text{flex}(n+1)}$, calculam-se os valores dos ganhos internos associados ($Q_{\text{flex}(n+1)}$)
18. Este processo é repetido para cada período de 24h em análise.

Na Figura 3.4 é ilustrado um diagrama com os procedimentos presentes no Caso 3.

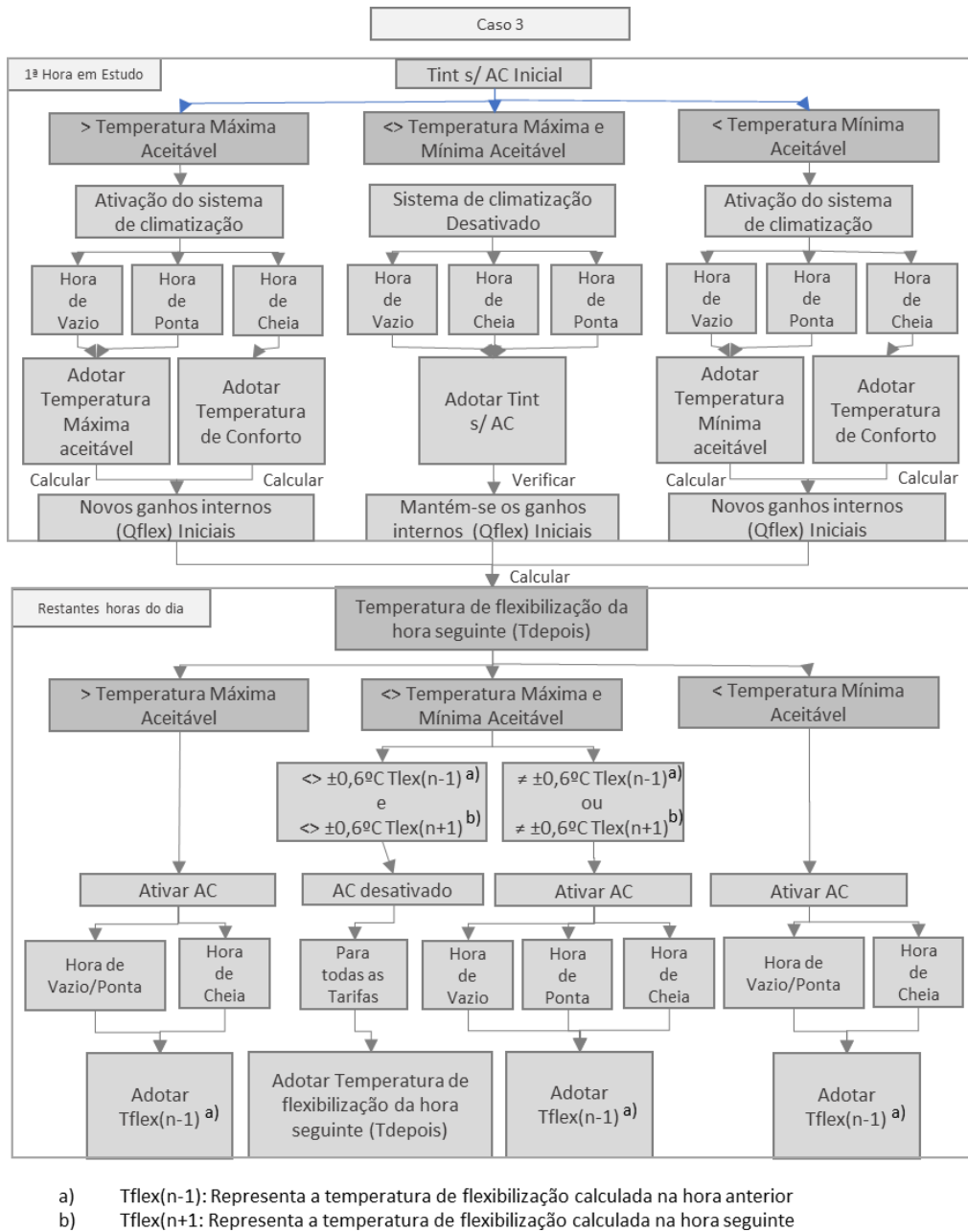


Figura 3.4: Caso 3 - Processo de Cálculo da Temperatura de flexibilização

Utilizada a flexibilidade energética do sistema de climatização é, então possível retirar todos os dados necessários para que se cumpram os objetivos propostos. O cálculo dos custos por kWh do sistema de climatização (ar-condicionado) é efetuado através dos ganhos inerentes ao sistema, afetos pela tarifa de eletricidade considerada pelo utilizador. Serão considerados os custos do sistema de climatização (ar-condicionado) diários, mensais e anuais, quer para a estação de aquecimento quer para a estação de arrefecimento.

O cálculo do custo diário é efetuado com base no somatório do custo horário, num período de 24h, Equação (32). Uma vez que, a ferramenta analisa apenas três dias na estação de aquecimento e três dias na estação de arrefecimento, o custo mensal é calculado com base na média dos três dias estudados, Equação (33). Relativamente ao custo anual, este é calculado com base no valor mensal obtido, multiplicado pelo número de meses afeto a cada estação do ano, Equação (34). Os valores da duração da estação de aquecimento (M) variam com o distrito e são definidos na Tabela A.9. Na estação de arrefecimento são consideradas 2928 horas, ou seja, 4,07 meses, [35].

$$C_{diário} = \sum_1^{24} Q_{AC,n} * Tarifa_n \quad (32)$$

$$C_{mensal} = \frac{\sum C_{diário}}{3} * 30 \quad (33)$$

$$C_{anual} = C_{mensal} * M \quad \text{ou} \quad C_{anual} = C_{mensal} * 4,07 \quad (34)$$

Para definição da potência a contratar é essencial saber a potência, em watts, de cada equipamento presente na habitação e o horário de utilização dos mesmos. Por conseguinte, o valor máximo da soma de todos os equipamentos e iluminação utilizados em simultâneo, corresponde à potência mínima que será necessário contratar. No presente trabalho consideram-se apenas os aparelhos eletroeletrónicos inseridos na habitação com cargas estáveis em todo o seu ciclo de funcionamento.

A potência a contratar terá de ter valor superior ao valor máximo de potência aparente. É necessário distinguir-se a potência ativa (Watt) da potência aparente (Volt-Ampere). A potência ativa (Qi) é a potência que é efetivamente consumida pela carga e transformada em trabalho, ou seja, a potência considerada para cada equipamento. Relativamente à potência aparente (S), é aquela necessária para que com determinados valores de tensão da corrente um determinado equipamento funcione corretamente. A potência aparente (S) corresponde à potência real (Qi) [kW], dividida pelo fator de potência (FP), Equação (35). O fator de potência varia entre 0 e 1.

$$S = \frac{P[kW]}{FP} [kVA] \quad (35)$$

Para o maior aproveitamento da flexibilização do sistema de climatização (ar-condicionado) considera-se um sistema de controlo do volume variável de fluido frigorígeno, VRF. Este sistema de climatização (ar-condicionado) faz circular apenas a quantidade mínima de fluido frigorígeno necessária durante o período de aquecimento ou arrefecimento. Este mecanismo permite que o utilizador controle individualmente várias zonas de ar-condicionado em simultâneo [38].

Os ganhos do sistema de climatização (ar-condicionado) obtêm-se ao retirar aos ganhos internos (Q_{int}), os ganhos térmicos brutos (Q_g), e os ganhos no interior da habitação antes da implementação do sistema. A potência ótima associada ao sistema de ar-condicionado será a mínima potência necessária para o seu correto funcionamento. A potência mínima necessária corresponde ao valor máximo obtido nos ganhos internos associado ao sistema de climatização (ar-condicionado). Quanto maior a flexibilização feita ao sistema de climatização (ar-condicionado) menor será a potência ótima necessária para o correto funcionamento do sistema.

Todos os valores adquiridos pela utilização da flexibilidade energética serão apresentados em gráfico e tabelas, Capítulo 5. Após a análise dos resultados de potência a contratar será perceptível se a tarifa imposta é a mais adequada. A contratação de uma potência inferior causa interrupções no sistema elétrico, quando a potência aparente, S , ultrapassa os valores estipulados pela potência contratada. A contratação de uma potência superior à necessária aumenta os custos horários da tarifa elétrica.

4 Casos de Estudo

Pretende-se no presente capítulo apresentar e descrever os casos de estudo analisados para validação da FFLEX, elaborada no software Microsoft Excel. Para efeito de validação da FFLEX foi necessário recorrer a um software credenciado, software EnergyPlus.

De seguida, será apresentado o subcapítulo onde se definem os casos de estudo analisados e posteriormente apresentado um subcapítulo onde se identifica a método de aplicação dos casos de estudo ao software EnergyPlus.

4.1 Casos de Estudo

Para efeito de validação da FFLEX analisar-se-á uma habitação com uma única zona, Figura 4.1. Trata-se de um cubo de área de pavimento, A_{pav} , de $9m^2$ e pé direito médio de 3m. A fachada a sul é a única fachada exposta ao sol/vento, e as restantes paredes são adiabáticas. O vão envidraçado tem área de $2,2m^2$, também orientado a sul, Tabela 4.1.

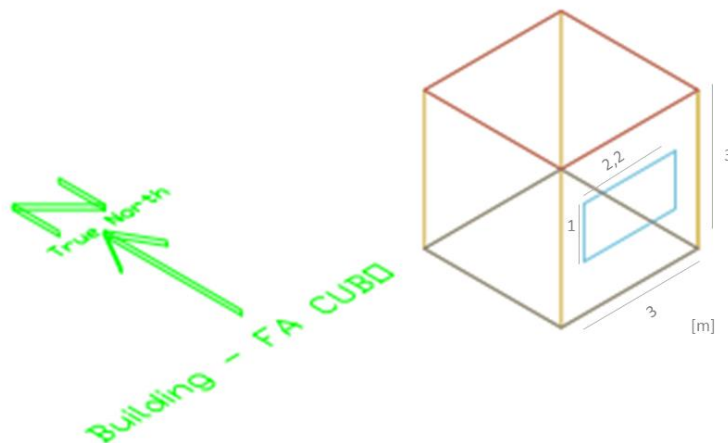


Figura 4.1: Geometria da Habitação

Tabela 4.1: Geometria da Habitação

Habitação	Área Útil de Pavimento	$9m^2$			
	Pé Direito Médio	3m			
	Orientação	Norte	Este	Sul	Oeste
	Condições de Contorno externas	Adiabático	Adiabático	Exterior	Adiabático
	Exposição ao Sol e Vento	Não	Não	Sim	Não
	Vão Envidraçado	Não	Não	$2,2m^2$	Não

Analisar-se-ão os mesmos casos de estudo para três zonas climáticas de Portugal, distintas. Os casos de estudo serão analisados para as zonas climáticas de Lisboa, Porto e Évora, escolhidas com base no ficheiro climático do software EnergyPlus. Escolheram-se estas três zonas climáticas, por Lisboa se encontrar no centro do país, junto ao oceano, o Porto ser uma região a norte com temperaturas exteriores mais baixas e Évora uma região no interior do país, com temperaturas exteriores mais elevadas.

As características das soluções construtivas adotadas encontram-se apresentadas nas tabelas, Tabela 4.2 - Tabela 4.8, de modo a analisar a necessidade de aquecimento da habitação (onde e – espessura, λ - condutibilidade térmica, R – resistência Térmica). O vão envidraçado de todas as soluções construtivas inclui persianas de régua metálica e cor clara, como proteções exteriores. A fachada do edifício é de cor branca. O edifício onde se insere a habitação não contém palas de sombreamento, quer horizontais quer verticais.

Como analisado nas Tabela 4.2 - Tabela 4.8 existem sete variantes nas soluções construtivas. Uma solução construtiva de parede simples com vidro duplo, e sem equipamentos ativos e ocupação. Uma solução construtiva de parede dupla com vidro duplo e sem equipamentos ativos e ocupação. Relativamente à solução construtiva de pano duplo, esta engloba as restantes cinco variantes. A solução construtiva de pano duplo foi analisada com vidro simples e vidro duplo, dentro do vidro duplo no espaço de ar, numa das variantes foi trocado o ar por argon. Ainda na solução construtiva de pano duplo e vidro duplo com espaço de ar com ar, foram introduzidos equipamentos no horário noturno e no horário diurno. Em relação ao diagrama de cargas, presente nas Tabela 4.7 e Tabela 4.8, este é constante para o período estabelecido nas mesmas tabelas.

Definidos os dados de entrada é necessária a definição das condições de fronteira adotadas. Na estação de arrefecimento, assumiu-se uma temperatura de conforto padrão de 25°C. Todavia, uma vez que se referiu que a temperatura de conforto poderia variar de pessoa para pessoa, na estação de aquecimento considerou-se como temperatura de conforto 18°C [5]. Foi considerada também uma amplitude de 2°C, quer na estação de aquecimento quer na estação de arrefecimento, como temperatura máxima e mínima aceitáveis para o utilizador, Tabela 4.9.

Outra das condições de fronteira de que é necessária a sua definição, é a de temperatura exterior das diferentes zonas climáticas. Para a análise dos dados será necessária a definição de um período horário, quer para a estação de aquecimento quer para a estação de arrefecimento. Definiram-se os dias 1 a 3 de março para a estação de aquecimento, e 1 a 3 de julho para a estação de arrefecimento. Em anexo incluem-se os valores de temperatura exterior adotados para as três zonas climáticas, respetivamente, Tabela B.23, Tabela B.24 e Tabela B.25

É de salientar que a utilização de equipamentos, pessoas e luzes no interior da habitação, foi implementada somente para a solução construtiva Cubo – Ganhos Diurnos (Tabela 4.7) e Cubo – Ganhos Noturnos (Tabela 4.8). Os equipamentos escolhidos (computador, aparelhagem e impressora) podem ser sujeitos a uma flexibilização, no entanto a aplicação dessa flexibilização não pode ser executada sem que se alterem as rotinas e necessidades do utilizador. Foram escolhidos

exatamente estes equipamentos para que se entenda que a flexibilização aplicada a esta FFLEX se destina unicamente ao sistema de climatização (ar-condicionado).

Tabela 4.2: Solução construtiva Cubo - Padrão

Cubo - Padrão	Parede de Fachada				
	Solução construtiva	Materiais	e [m]	λ [W/(m.K)]	R [(m2.K)/W]
	Parede de Pano Duplo	Reboco	0,02	1,3	0,02
		Alvenaria Tijolo 15	0,15	0,39	0,38
		EPS	0,03	0,04	0,75
		Alvenaria Tijolo 11	0,11	0,41	0,27
		Reboco	0,02	1,3	0,02
	Vão Envidraçado				
	Tipo de Vidro	Materiais	e [m]	λ [W/(m.K)]	R [(m2.K)/W]
	Duplo	Clear 12	0,012	0,9	0,01
	Espaço de Ar	air	0,008	0,023	0,35
	Equipamentos Activos				
	Não				

Tabela 4.3: Solução construtiva Cubo – Parede Simples

Cubo - Parede Simples	Parede de Fachada				
	Solução construtiva	Materiais	e [m]	λ [W/(m.K)]	R [(m2.K)/W]
	Parede Simples	Reboco	0,02	1,3	0,02
		Alvenaria 20	0,2	0,37	0,54
		Reboco	0,02	1,3	0,02
	Vão Envidraçado				
	Tipo de Vidro	Materiais	e [m]	λ [W/(m.K)]	R [(m2.K)/W]
	Duplo	Clear 12	0,012	0,9	0,01
	Espaço de Ar	air	0,008	0,023	0,35
	Equipamentos Activos e Ocupação				
	Não				

Tabela 4.4: Solução construtiva Cubo – Parede Dupla

Cubo - Parede Dupla	Parede de Fachada				
	Solução construtiva	Materiais	e [m]	λ [W/(m.K)]	R [(m2.K)/W]
	Parede Dupla	Reboco	0,02	1,3	0,02
		Alvenaria 15	0,15	0,39	0,38
		Espaço de Ar	0,03	-	0,18
		EPS	0,06	0,037	1,62
		Alvenaria 11	0,11	0,41	0,27
		Reboco	0,02	1,3	0,02
	Vão Envidraçado				
	Tipo de Vidro	Materiais	e [m]	λ [W/(m.K)]	R [(m2.K)/W]
	Duplo	Clear 12	0,012	0,9	0,01
	Espaço de Ar	air	0,008	0,023	0,35
	Equipamentos Activos e Ocupação				
	Não				

Tabela 4.5: Solução construtiva Cubo – Vidro Simples

Cubo - Vidro Simples	Parede de Fachada				
	Solução construtiva	Materiais	e [m]	λ [W/(m.K)]	R [(m2.K)/W]
	Parede de Pano Duplo	Reboco	0,02	1,3	0,02
		Alvenaria Tijolo 15	0,15	0,39	0,38
		EPS	0,03	0,04	0,75
		Alvenaria Tijolo 11	0,11	0,41	0,27
		Reboco	0,02	1,3	0,02
	Vão Envidraçado				
	Tipo de Vidro	Materiais	e [m]	λ [W/(m.K)]	R [(m2.K)/W]
	Simples	Clear 12	0,012	0,9	0,01
	Espaço de Ar	-	-	-	-
	Equipamentos Activos e Ocupação				
	Não				

Tabela 4.6: Solução construtiva Cubo – Vidro Duplo (Argon)

Cubo - Vidro Duplo (Argon)	Parede de Fachada				
	Solução construtiva	Materiais	e [m]	λ [W/(m.K)]	R [(m2.K)/W]
	Parede de Pano Duplo	Reboco	0,02	1,3	0,02
		Alvenaria Tijolo 15	0,15	0,39	0,38
		EPS	0,03	0,04	0,75
		Alvenaria Tijolo 11	0,11	0,41	0,27
		Reboco	0,02	1,3	0,02
	Vão Envidraçado				
	Tipo de Vidro	Materiais	e [m]	λ [W/(m.K)]	R [(m2.K)/W]
	Duplo	Clear 12	0,00102	0,14	0,01
	Espaço de Ar	Argon	0,013	0,0177	0,73
	Equipamentos Activos e Ocupação				
	Não				

Tabela 4.7: Solução construtiva Cubo – Ganhos Diurnos

Cubo - Ganhos Diurnos	Parede de Fachada				
	Solução construtiva	Materiais	e [m]	λ [W/(m.K)]	R [(m2.K)/W]
	Parede de Pano Duplo	Reboco	0,02	1,3	0,02
		Alvenaria Tijolo 15	0,15	0,39	0,38
		EPS	0,03	0,04	0,75
		Alvenaria Tijolo 11	0,11	0,41	0,27
		Reboco	0,02	1,3	0,02
	Vão Envidraçado				
	Tipo de Vidro	Materiais	e [m]	λ [W/(m.K)]	R [(m2.K)/W]
	Duplo	Clear 12	0,012	0,9	0,01
	Espaço de Ar	air	0,008	0,023	0,35
	Equipamentos Activos e Ocupação				
	Sim				
	Potencia e Horário de Funcionamento				
	Aparelhagem	Computador	Iluminação	Ocupante	Televisão
	0,15 [Kw]	0,3 [kW]	0,06 [kW]	0,06 [kw]	0045[kW]
	1 Aparelhagem	1 PC	3 Lampadas	2 Pax.	1 TV
	Das 9h às 18h				

Tabela 4.8: Solução construtiva Cubo – Ganhos Noturnos

Cubo - Ganhos Noturnos	Parede de Fachada				
	Solução construtiva	Materiais	e [m]	λ [W/(m.K)]	R [(m2.K)/W]
	Parede de Pano Duplo	Reboco	0,02	1,3	0,02
		Alvenaria Tijolo 15	0,15	0,39	0,38
		EPS	0,03	0,04	0,75
		Alvenaria Tijolo 11	0,11	0,41	0,27
		Reboco	0,02	1,3	0,02
	Vão Envidraçado				
	Tipo de Vidro	Materiais	e [m]	λ [W/(m.K)]	R [(m2.K)/W]
	Duplo	Clear 12	0,012	0,9	0,01
	Espaço de Ar	air	0,008	0,023	0,35
	Equipamentos Activos e Ocupação				
	Sim				
	Potencia e Horário de Funcionamento				
	Aparelhagem	Computador	Iluminação	Ocupante	Televisão
	0,15 [Kw/Un.]	0,3 [kW/Un.]	0,06 [kW/Un.]	0,06 [kw/Un.]	0045[kW/Un.]
	1 Aparelhagem	1 PC	3 Lampadas	2 Pax.	1 TV
	Das 00h às 8h e Das 18h às 24h				

Tabela 4.9: Temperaturas de Conforto

Estação do ano	Temperatura de conforto	Temperatura Máxima Aceitável	Temperatura Mínima Aceitável
Inverno	18°C	20°C	16°C
Verão	25°C	27°C	23°C

Para que seja feita uma estimativa dos custos é necessário que o utilizador, primeiramente, defina uma potência contratada e respetiva tarifa associada. Deste modo, a potência contratada e respetiva tarifa, em análise, foram retiradas com base nos valores estipulados pela EDP [31]. Definiu-se como potência contratada uma potência de 10,35kVA, com encargos mensais de 13,56€. Para além dos encargos mensais uma tarifa gera custos em função da procura. Uma vez que se trata de uma potência contratada de valor superior a 6,9kVA os custos de tarifa tomam o valor máximo do escalão de tarifas de baixa tensão normal, como ilustrado na Tabela 4.10.

Como referido, os valores de temperatura exterior para validação da FFLEX foram retirados dos valores estimados pelo software EnergyPlus, e estes são estimados a trinta anos. Deste modo, considerou-se a análise para um período de três dias uteis. A única alteração que se poderá verificar, quando colocados os mesmos valores de temperatura exterior no período de fins-de-semana, deve-se à alteração do horário das tarifas de eletricidade.

Tabela 4.10: Custo e Horário da tarifa contratada

			Inverno	Verão
Tarifa	Periodo horário	Custo [€/h]	Horario	
Bi-horária	Horas Fora de Vazio	0,1986	Das 7h às 24h	Das 7h às 24h
	Horas de Vazio	0,1016	Das 00h às 7h	Das 00h às 7h
Tri-horária	Horas de Cheia	0,1765	Das 7h às 10h	Das 7h às 10h
			Das 12h às 19h	Das 12h às 24h
			Das 21h às 24h	
	Horas de Ponta	0,2253	Das 10h às 12h	Das 10h às 12h
	Horas de Vazio	0,1016	Das 19h às 21h	Das 00h às 7h

4.2 Caso de Estudo Aplicado ao Software EnergyPlus

A ferramenta de avaliação da flexibilidade energética (FFLEX) foi implementada sob uma folha Microsoft Excel. Para validação da FFLEX foi necessária a utilização do software EnergyPlus. Como referido anteriormente, a definição de uma equação de temperatura interior (Equação (23)) será indispensável para se atingirem os objetivos propostos na FLEX, sem necessidade de se recorrer a outro software. Como tal, é fundamental que haja um software credenciado que possa servir de comparação dos valores obtidos para validação da mesma, software EnergyPlus.

O software EnergyPlus foi desenvolvido para a simulação de carga térmica e análise energética de edificações e seus sistemas, é um programa complexo e com muitas funcionalidades [2]. No entanto, os objetivos finais propostos na presente dissertação não seriam possíveis apenas com a utilização do software EnergyPlus.

As características da habitação e as respetivas soluções construtivas, apresentadas acima, serão analisadas no software EnergyPlus. Do software EnergyPlus serão retirados os valores de temperatura exterior (*site Outdoor Air Drybulb Temperature*) e interior (*Zone Mean Air Temperature*) referentes a cada solução construtiva, quer para a estação de aquecimento quer para a estação de arrefecimento [2]. Os valores de temperatura exterior da base de dados do software EnergyPlus são calculados a trinta anos, e os valores de temperatura interior gerados pelo software são calculados com base nesses valores de temperatura exterior.

Uma vez que o programa é complexo, exige a definição de parâmetros que não foram determinados anteriormente. Às características da solução construtiva mencionadas anteriormente é necessário acrescentar a rugosidade dos materiais, a massa volúmica aparente seca (ρ) e o calor específico (C_p), como ilustrado na Tabela 4.11. Uma vez que o software considera a inércia térmica, há necessidade de colocar os materiais por ordem, do exterior para o interior. O software

assume, também, que dentro de uma zona não existem diferenciais de temperatura, os elementos de uma superfície estão à mesma temperatura e a condução de calor é unidirecional [2].

Tabela 4.11: Características dos Materiais da Envolvente Opaca

Material	Rugosidade	ρ [Kg/m ³]	Cp [J/kg.K]
Reboco	Rugosidade Média	1800	837
Alvenaria 15	Rugoso	1200	837
Alvenaria 12	Muito Rugoso	1200	837

É essencial definir as coordenadas das envolventes e vãos envidraçados, e a orientação da fachada. Definidas as coordenadas e a orientação, o programa gera um ficheiro que poderá ser aberto no AutoCad, e que define a geometria da habitação em 3D, como ilustra a Figura 4.1. A título de exemplo, para os casos de estudo na zona climática de Lisboa é importante referir que se encontram junto ao oceano.

Para a validação da FFLEX pelo software EnergyPlus não se considerou a ativação de um sistema HVAC. A temperatura interior estimada pelo software depende apenas dos dados de entrada da temperatura exterior definida pelo programa, e do horário de ocupação de pessoas e utilização dos equipamentos. Uma das desvantagens do EnergyPlus é não possuir uma base de dados de temperaturas exteriores de todas as regiões do país, que limita toda a execução do projeto às regiões existentes no ficheiro climático, que para o caso de Portugal são apenas oito [39].

Concluída a simulação do caso de estudo os resultados são obtidos no software Microsoft Excel.

5 Análise de Resultados

No presente capítulo serão apresentados os resultados, e respetiva análise, da utilização da flexibilidade energética obtida com a ferramenta de avaliação da flexibilidade energética, estudadas sob uma folha Microsoft Excel. Primeiramente será validada a FFLEX, quando comprada com os resultados obtidos, pelo software EnergyPlus. As zonas climáticas e diferentes soluções construtivas serão apresentadas e comparadas ao longo do capítulo.

O presente capítulo foi dividido em sete subcapítulos. Apresenta-se uma análise aos resultados de cada subcapítulo:

- a) Temperatura externa
- b) Temperatura interna
- c) Temperatura interna otimizada
- d) Ganhos internos otimizados
- e) Custo do kW/h do ar-condicionado
- f) Potência a contratar
- g) Potência ótima do ar-condicionado.

5.1 Temperatura Exterior

A equação $\Phi 1$ (Equação (25)) não foi utilizada na equação da FFLEX, embora esta seja a equação presente na equação de temperatura interior desenvolvida (Equação (23) e (24)). A equação $\Phi 1$ não foi utilizada pois é necessário que o utilizador, anteriormente, acesse aos valores de temperatura exterior média diária e valores de temperatura máxima diária. Assim, definiu-se que o utilizador indica os valores de temperatura exterior real diária, e a FFLEX evita as aproximações a que a equação $\Phi 1$ está sujeita.

Contudo, e para validação total da equação de temperatura interior, serão apresentados os resultados de $\Phi 1$ quando comparados com resultados adquiridos pelo software EnergyPlus.

Serão analisados três dias, quer na estação de arrefecimento quer na estação de aquecimento. Como já referido, no período de verão optou por se analisar os dias um, dois e três de julho, e no período de inverno os dias um, dois e três de março. Foram escolhidas estas datas por se revelar uma maior amplitude na temperatura exterior quando comparadas com outras datas analisadas inicialmente. Quanto maior a amplitude da temperatura exterior maior o desfasamento da temperatura interior, uma vez que esta está diretamente associada às perdas ou ganhos de calor pelas envolventes.

Os valores de temperatura exterior foram retirados com base nos valores gerados no software EnergyPlus. Estes valores só variam de zona climática para zona climática.

Ao analisar a temperatura exterior obtida para a estação de arrefecimento, na zona climática de Lisboa, Figura 5.1, verifica-se que a linha amarela ($\Phi 1$) é periódica e a linha azul ($T_{\text{ext Real}}$) se aproxima muito de uma função periódica. A amplitude de Text Real corresponde à amplitude de $\Phi 1$ e tem um caminho muito semelhante ao calculado pela equação $\Phi 1$.

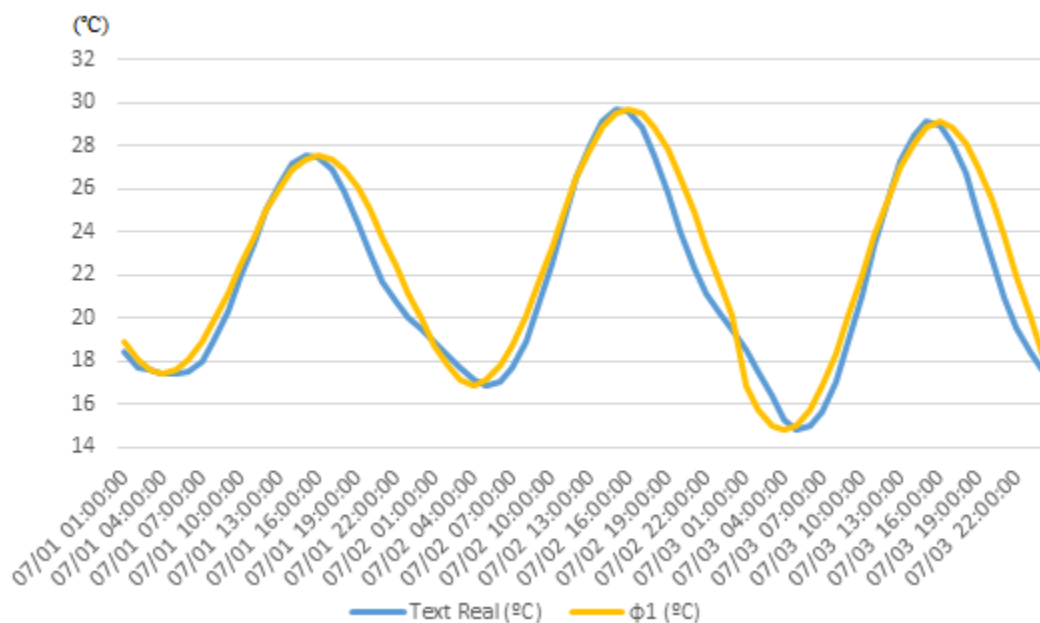


Figura 5.1: Temperatura exterior, estação de arrefecimento, zona climática de Lisboa

Para o mesmo período horário, agora na zona climática de Évora, Figura 5.2, observam-se maiores oscilações da linha azul ($T_{\text{ext Real}}$). Existe uma alteração incomum nas primeiras três horas do dia um de julho, onde se verifica um aumento de temperatura de dois graus entre a meia noite e a uma da manhã, e a sua diminuição nas duas horas seguintes, todavia a sua amplitude corresponde à amplitude gerada pela equação $\Phi 1$. No segundo dia observado, embora o traço da linha azul ($T_{\text{ext Real}}$) seja mais comum e sinusoidal ainda se apresenta um pouco díspar de uma função periódica.

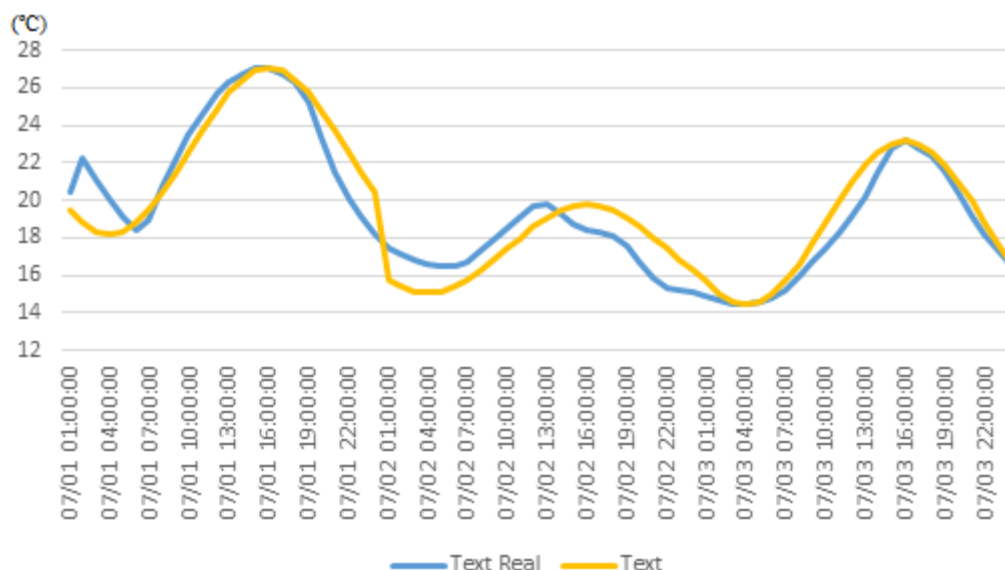


Figura 5.2: Temperatura exterior, estação de arrefecimento, zona climática de Évora

Em jeito de conclusão, a equação $\Phi 1$ poderá, perfeitamente, ser usada como substituição dos valores reais de temperatura exterior. Os valores reais de temperatura exterior não formam uma função perfeitamente periódica, mas uma função que ao longo de um período de 24h percorre um caminho bastante próximo do percorrido por uma função deste tipo. As situações adversas apresentadas não são significativas no resultado final do cálculo da temperatura interior, como será demonstrado mais adiante.

5.2 Temperatura Interior

É no presente subcapítulo que se valida a equação de temperatura interior elaborada anteriormente. Chega-se assim, à validação mais importante do presente trabalho. A validação da temperatura interior permitirá que se prossiga com a utilização da flexibilidade energética do sistema para as diferentes soluções construtivas. A validação será obtida quando comparada, hora a hora, com os valores obtidos no software EnergyPlus. Foram exploradas, no software EnergyPlus, todas as soluções construtivas estudadas na FFLEX como explicado e exemplificado no Capítulo 4. Os mesmos dados, embora com menos detalhe, foram também inseridos na FFLEX, sob uma folha Microsoft Excel. Executada e validada a comparação não se recorreu novamente ao software EnergyPlus.

Antes de se verificar a validação da equação de temperatura interior irá verificar-se a discrepância entre as curvas de temperatura interior, obtidas pelos valores reais de temperatura exterior ($T_{extReal}$), e pelos valores de temperatura exterior oriundos da equação $\Phi 1$, Figura 5.3. O caminho de cor encarnada ($T_{int}(T_{extReal})$) foi calculado com base nos valores de temperatura exterior gerados pelo EnergyPlus, ($T_{extReal}$), e o caminho de cor verde, $T_{int}(\Phi 1)$, foi calculado com base na equação periódica, $\Phi 1$.

Os valores de temperatura interior presentes na Figura 5.3 correspondem à solução construtiva Cubo – Ganhos diurnos (Tabela 4.7), na estação de aquecimento e zona climática de Lisboa. A análise das curvas de temperatura interior calculadas com a FFLEX, permite verificar que embora haja uma ligeira discrepância entre as curvas de temperatura exterior, esta quase não se faz sentir nas curvas de temperatura interior. As curvas de temperatura interior são muito similares, pois embora a temperatura exterior afete o cálculo dos valores de temperatura interior, esta depende também da solução construtiva da habitação e dos ganhos internos da mesma.

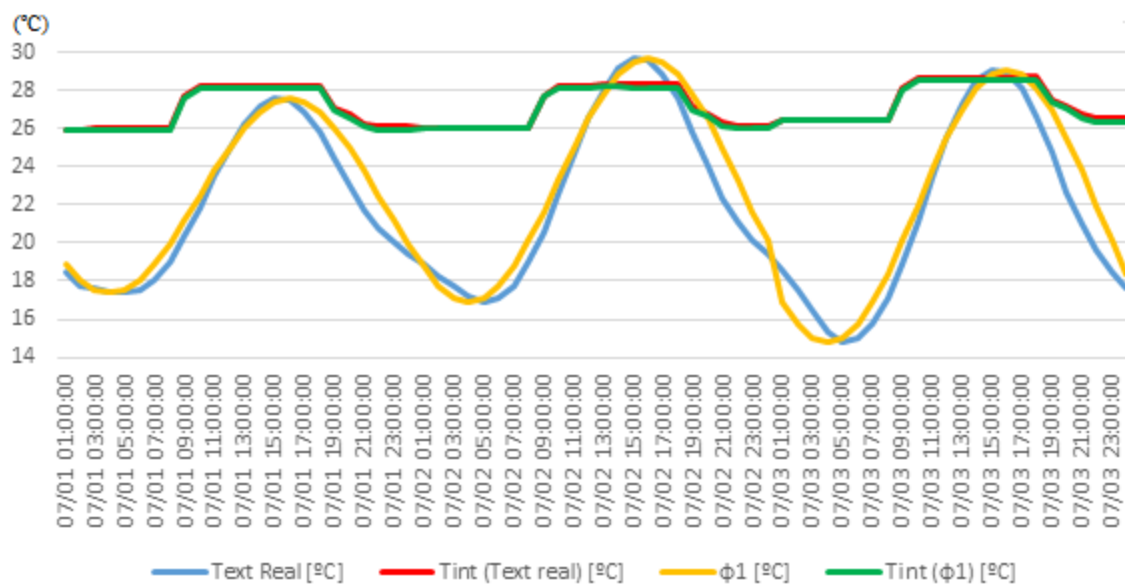


Figura 5.3: Comparação da temperatura interior com base na $T_{\text{ext Real}}$ e na $\Phi 1$

Para validação da equação de temperatura interior formulada para a utilização da FFLEX irão ser analisados os resultados obtidos em duas soluções construtivas. A primeira solução a analisar será a solução construtiva Cubo – Parede dupla (Tabela 4.4) na zona climática de Évora, no período de aquecimento, Figura 5.4. A segunda solução a analisar será a solução construtiva Cubo – Padrão (Tabela 4.2) na zona climática do Porto, no período de arrefecimento, Figura 5.5.

Na Figura 5.4 verifica-se que a temperatura exterior para os dias analisados na estação de aquecimento, zona climática de Évora, sofrem uma grande oscilação, chegando a atingir mais de 10°C de diferença ao longo de um período de 24h. No entanto, ao tratar-se de uma solução construtiva de parede dupla, vidro duplo e áreas reduzidas a variação da temperatura exterior não é significativa. Todavia, ao comparar os valores de temperatura interior verifica-se alguma discrepância entre eles. Verifica-se que a variação máxima de temperatura que se faz sentir entre as duas curvas é de 0,9°C. Uma das razões possíveis para esta diferença é a complexidade do software EnergyPlus, uma outra possível razão será o número de variáveis introduzidas em $\Phi 2$, Equação (27). Quantas mais variáveis introduzidas na equação $\Phi 2$ mais adaptável é a curva. A mesma análise poderá ser feita para a Figura 5.5 em que a variação máxima de temperatura interior, que se faz sentir entre as duas curvas, é 0,969°C, mantendo-se novamente abaixo de 1°C.

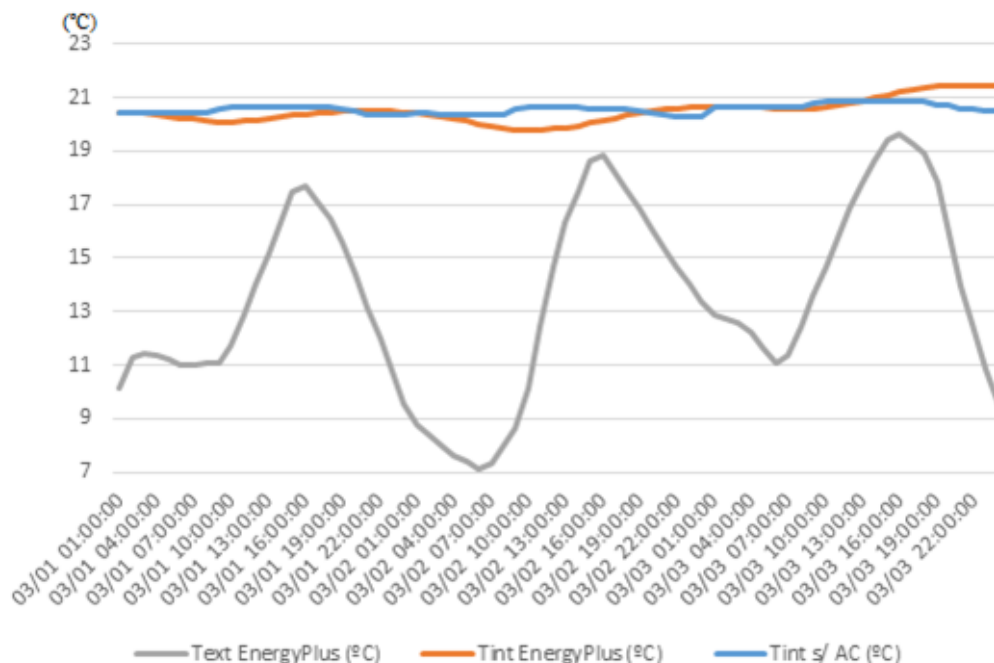


Figura 5.4: Cubo – Prede dupla - Temperatura interior obtida no EnergyPlus/MicrosoftExcel

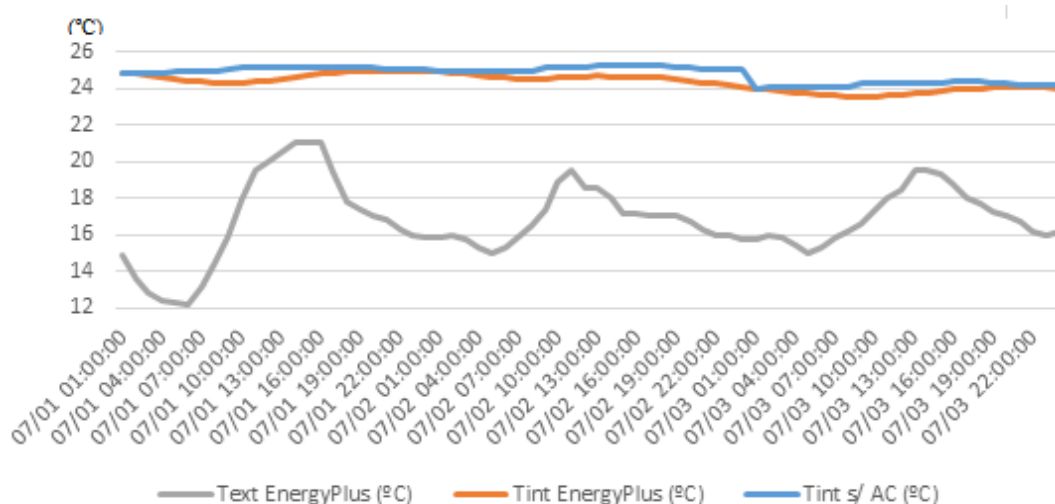


Figura 5.5: Cubo – Padrão - Temperatura interior obtida no EnergyPlus/MicrosoftExcel

Ao analisar a solução construtiva de parede simples (Tabela 4.3) na zona climática de Lisboa, na estação de aquecimento, Figura 5.6, verifica-se que existe uma maior diferença entre os valores de temperatura gerados pelo EnergyPlus e o MicrosoftExcel. A diferença máxima horária, entre as duas curvas de temperatura interior, é 1.436°C. Esta discrepância deve-se não só às razões já mencionadas, mas também ao tipo de solução construtiva.

Para a mesma temperatura exterior, o caminho feito por uma curva de temperatura interior de uma solução construtiva de parede simples (Tabela 4.3) tem curvas mais acentuadas que o caminho feito por uma curva da solução construtiva de uma parede dupla (Tabela 4.4). Isto porque, quanto maior o coeficiente de transmissão térmico (U) maior o valor da constante (A) referente

às dissipações/ganhos de calor pelas paredes. Uma solução construtiva de parede simples, ao ter uma constante (A) de valor superior a uma solução construtiva de parede dupla, vai ter mais sensibilidade às alterações de temperatura exterior e o seu caminho terá maiores curvas, como se verifica no caminho laranja ($T_{\text{int EnergyPlus}}$), da Figura 5.6. Na curva a azul, $T_{\text{int s/ AC}}$, não se verifica essa sensibilidade devido à falta de variáveis na equação $\Phi 2$, empregues na realização da FFLEX.

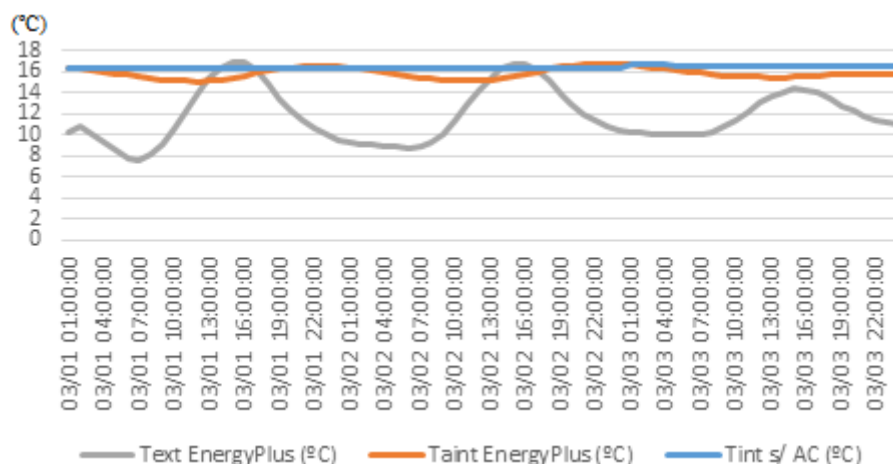


Figura 5.6: Cubo – Parede Simples - Temperatura interior obtida no EnergyPlus/MicrosoftExcel

Conclui-se que quanto menor o coeficiente de transmissão térmica, U , mais se equiparam as curvas de temperatura interior.

Na Figura 5.7, é feita a comparação dos valores de temperatura interior para a solução construtiva de parede simples e de parede dupla, obtidos pela FFLEX. A diferença entre a temperatura máxima e mínima atingida no interior de uma habitação com solução construtiva de parede simples é superior à diferença atingida na solução de parede dupla. Esta diferença deve-se à maior sensibilidade que uma parede simples tem às temperaturas exteriores como explicado anteriormente. Embora as temperaturas tenham curvas similares existe uma diferença de quase dois graus entre elas. No período horário estudado, a habitação com paredes duplas mantém-se mais aquecida devido à inércia térmica e acumulação de calor pelas paredes.

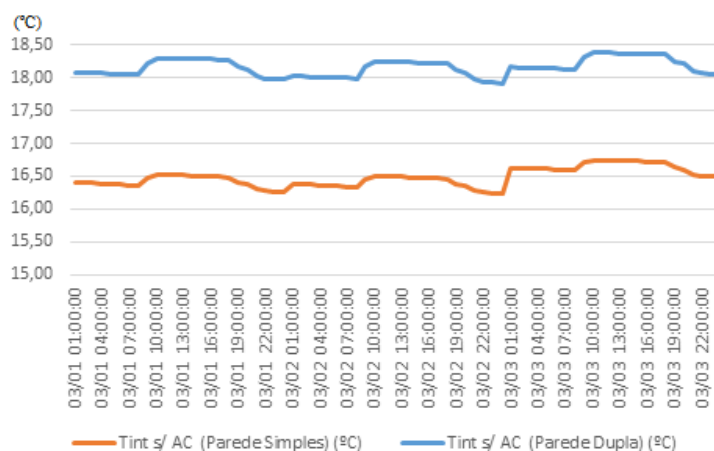


Figura 5.7: Cubo – Parede Simples Vs. Parede Dupla – Inverno - Lisboa

5.3 Temperatura Interior Otimizada

Neste subcapítulo será analisado o processo de otimização da temperatura interior que permitirá retirar todas as conclusões impostas pelos objetivos anteriormente formulados.

Primeiramente, começou por se agir como um utilizador comum, que não estando confortável com a temperatura no interior da habitação aciona o ar-condicionado a uma temperatura fixa, que considera como temperatura de conforto. No entanto, foram impostas regras para que se possível, sempre que na temperatura da hora seguinte, T_{depois} , se atinja a temperatura de conforto $\pm 0,6^{\circ}\text{C}$, o ar-condicionado seja desligado e só retome o seu funcionamento no momento em que a temperatura da hora seguinte aumente ou diminua deixando de corresponder a este intervalo de temperatura. No entanto esta temperatura de conforto a que o utilizador fica sujeito não é de forma alguma influenciada pela tarifa elétrica.

Na Figura 5.8, encontra-se um gráfico da solução construtiva de Cubo – Padrão (Tabela 4.2), na zona climática de Lisboa, analisada no período de verão. No gráfico está presente o caminho feito ao longo de três dias da temperatura sem ar-condicionado, $T_{\text{int s/ AC}}$, da temperatura de conforto, T_{conforto} , e por fim da temperatura da hora seguinte, T_{depois} , de conforto. Verifica-se que para T_{depois} , à exceção da primeira hora em análise, não se atinge a temperatura de conforto $\pm 0,6^{\circ}\text{C}$. Na primeira hora tem-se a T_{depois} a 25°C pois impõe-se uma ativação do sistema de climatização (ar-condicionado) para uma temperatura de conforto definida pelo utilizador, que no caso são 25°C .

Tanto na T_{depois} como na T_{conforto} se verificam perdas de calor relativamente à $T_{\text{int s/ AC}}$. Observa-se que, embora a T_{depois} não atinja os valores pretendidos para a temperatura de conforto, esta tem valores mais baixos que a $T_{\text{int s/ AC}}$ devido à inercia térmica. Uma vez ligado o ar-condicionado, o calor produzido por este vai influenciar a temperatura da hora seguinte verificando-se uma diminuição de temperatura em relação à $T_{\text{int s/ AC}}$. Esta diferença entre a T_{depois} e a $T_{\text{int s/ AC}}$ é relevante pois apesar de o ar-condicionado, neste caso, ter de estar constantemente acionado necessita de uma potência menor, para atingir a temperatura de conforto.

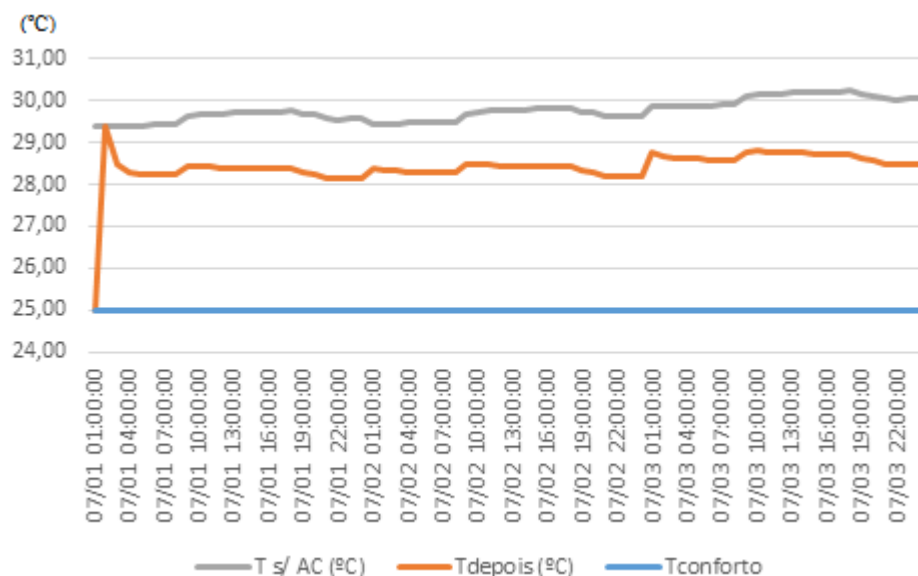


Figura 5.8: Tconforto Vs. Tdepois – Cubo – Padrão – Lisboa - Verão

Ao analisar novamente a solução construtiva, na zona climática de Lisboa, mas na estação de aquecimento, com uma temperatura de conforto de 18°C, verifica-se que não há acionamento do sistema de climatização (ar-condicionado), Figura 5.9. Nestas condições não é necessário o sistema de climatização (ar-condicionado) pois, como referido anteriormente, implementou-se como regra que sempre que a temperatura T_{depois} tivesse um valor entre $\pm 0,6^{\circ}\text{C}$ da temperatura de conforto definida pelo utilizador, esta seria tomada como temperatura de conforto da hora seguinte, $T_{conforto(n+1)}$, sem necessidade de acionamento do sistema de climatização (ar-condicionado) nessa situação.

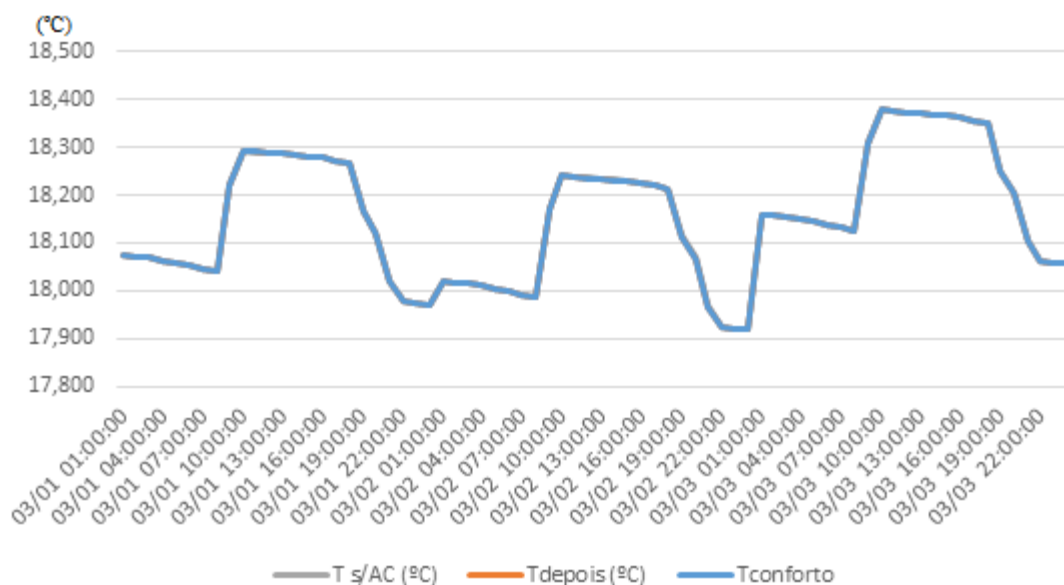


Figura 5.9: Tconforto Vs. Tdepois – Cubo – Padrão – Lisboa - Inverno

Continuando na solução construtiva Cubo – Padrão (Tabela 4.2), ainda na zona climática de Lisboa e no período de inverno, mas agora com uma temperatura de conforto, definida pelo utilizador, de 19°C. Apenas com as regras estabelecidas chega-se ao gráfico da Figura 5.10, onde se depara com oscilações de temperatura. Estas oscilações acontecem, pois foi estabelecido que sempre que a temperatura da hora seguinte não tivesse entre $\pm 0,6^\circ\text{C}$ da temperatura de conforto, o valor seria o valor definido para a temperatura de conforto.

O que sucede é que a temperatura da hora seguinte atinge um valor dentro do valor definido para a T_{conforto} e por consequência o sistema de climatização (ar-condicionado) é desligado, ficando a temperatura de conforto da hora seguinte, $T_{\text{conforto}(n+1)}$, com um valor igual ao da T_{depois} . Por consequência os valores que afetam a inércia térmica são mais reduzidos baixando os valores de T_{depois} , o que faz com que esta saia dos valores padrão estipulados pela temperatura de conforto, obrigando a que a T_{conforto} seja igual à temperatura de conforto definida pelo utilizador, verificando-se oscilações de temperatura durante um intervalo de tempo, como se observa na Figura 5.10. No entanto estas oscilações de temperatura são sempre inferiores a $0,6^\circ\text{C}$ e inferiores a um período de 8h. Como referido anteriormente detetou-se uma aceitação térmica das pessoas, acima dos 80%, quando sujeitas a um período de oito horas com alterações de $0,6^\circ\text{C}$ por hora, como tal não existe necessidade de imposição de outra regra nestas situações.

Todavia, na Figura 5.10 a ideia de que o sistema de climatização (ar-condicionado) é desligado, quando a T_{conforto} se equipara à T_{depois} , não é verídica. Pois não há um momento em que a T_{conforto} se mantém constante e a par com a T_{depois} . Esta variação de temperatura momentânea ainda assim provoca uma redução da potência necessária ao funcionamento do ar-condicionado durante o momento em que a temperatura deixa de estar a 18°C e regressa aos mesmos.

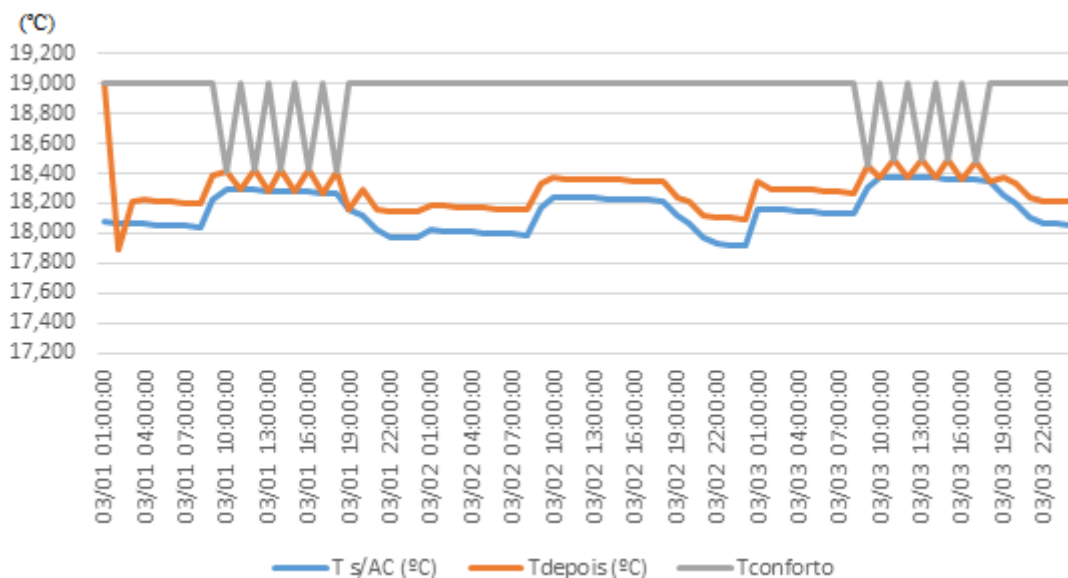


Figura 5.10: Temperatura de conforto de 19°C – Inverno – Cubo – Padrão

Analisada a temperatura de conforto (T_{conforto}), em função da T_{depois} , segue-se o mesmo processo, mas para a temperatura de flexibilização (T_{flex}). Para flexibilizar o sistema de climatização

considerou-se como temperatura de conforto 25°C e uma margem de $\pm 2^\circ\text{C}$. Na Figura 5.11, observa-se uma variação de temperatura que oscila entre os 23°C e os 25°C. Numa situação de verão seria de esperar que houvesse perdas de calor e por consequência a temperatura variasse entre os 25°C e os 27°C, mas uma vez que se trata da zona climática do Porto, uma zona com temperaturas mais baixas para as datas em estudo, observam-se ganhos de calor para o interior, em vez de perdas, como seria de esperar. A variação de temperatura é ditada em função das tarifas horárias como definido nas regras da temperatura de flexibilização, e explicado mais adiante.

Tal como na Figura 5.10 verificam-se oscilações horárias de temperatura da hora seguinte, T_{depois} , entre as dez e as dezanove horas do dia três de julho. Seria de esperar as mesmas oscilações para a T_{flex} , o que provocaria variações de temperatura de grande amplitude. Para colmatar variações de temperatura de quase 2°C definiu-se para T_{flex} , que sempre que esta tivesse $\pm 0,6^\circ\text{C}$ de $T_{\text{flex}(n-1)}$ e $T_{\text{flex}(n+1)}$ simultaneamente tomava o valor de $T_{\text{flex}(n-1)}$.

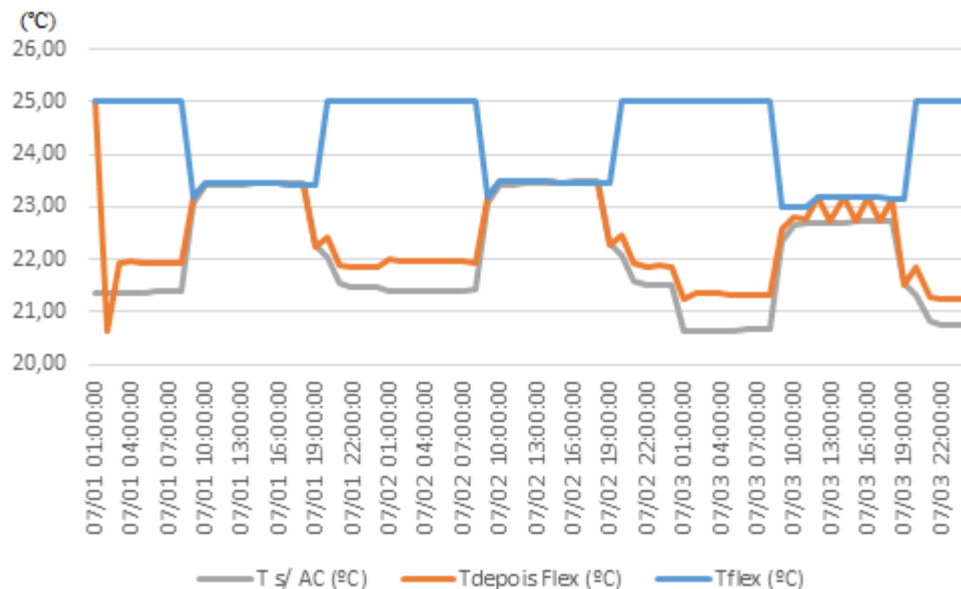


Figura 5.11: Tflex V.s Tdepois – Verão – Cubo – Ganhos diurnos – Porto

Por fim faz-se a análise do potencial de flexibilidade energética aplicada para as diferentes soluções construtivas. Começando por se analisar, na zona climática de Lisboa, a solução construtiva Cubo – Ganhos Diurnos (Tabela 4.7) na estação de aquecimento, verifica-se que foi possível uma flexibilização do sistema de climatização (ar-condicionado), Figura 5.12. A flexibilização é detetada na zona de sombreamento verde.

Observa-se que a T_{conforto} se manteve sempre estável nos 25°C. Com a otimização do sistema, em vários momentos se conseguiu equiparar a T_{flex} à T_{depois} de flexibilização. Esses períodos são definidos como todos os períodos em que a T_{flex} não se encontra nem a 25°C nem a 27°C. Durante todo período em que a T_{flex} se equipara à T_{depois} o sistema de climatização (ar-condicionado) é desativado, o que significa que não há gastos associados ao sistema nestes períodos como se verificará mais à frente.

Ao analisar a linha a verde (Tarifa), verifica-se que quando a tarifa atinge o seu valor máximo a T_{flex} atinge também o seu valor máximo para que se aproxime o máximo possível da temperatura interior, $T_{int\ s/\ AC}$, linha laranja. Isto sucede para que se minimizem ao máximo os gastos associados ao sistema de climatização (ar-condicionado). Deste modo, com as regras estipuladas para a $T_{conforto}$ e T_{flex} , denota-se que foi possível flexibilizar o sistema de climatização (ar-condicionado), sombreamento verde, na maior parte do período analisado. A Tabela 5.1 identifica a temperatura máxima e mínima referente a cada temperatura analisada anteriormente, concluindo-se que para a tarifa máxima a T_{flex} atinge os 27°C e que a $T_{conforto}$ 25°C ficando mais distante da $T_{int\ s/\ AC}$ que tem como temperatura máxima 28,55°C.

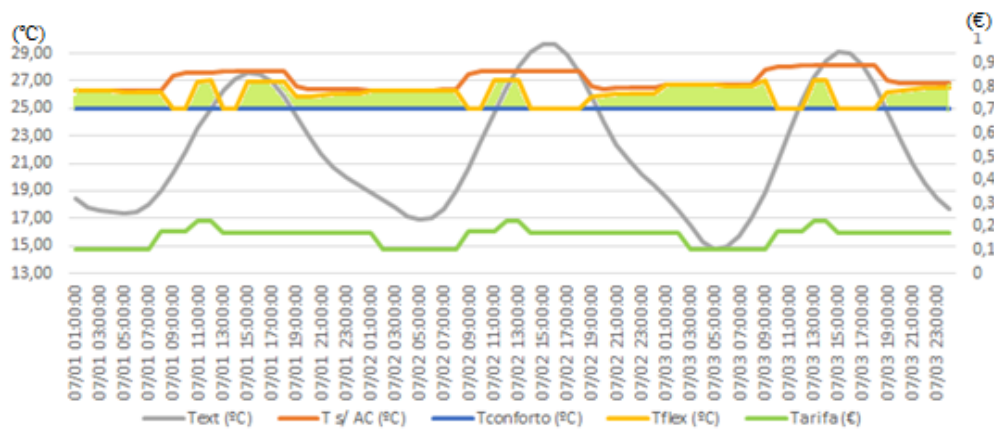


Figura 5.12: Flexibilização do sistema de ar-condicionado – Lisboa – Cubo – Padrão – Verão

Tabela 5.1: Tmax e Tmin – Lisboa – Cubo – Padrão - Verão

	Text	Tint s/ AC	Tint c/ Sistema HVAC	Tint flexibilizada
Máxima	29,70	28,55	25,59	27,00
Mínima	14,80	25,96	25,00	25,00

Ao analisar a Figura 5.13 verifica-se que se conseguiu flexibilizar o sistema de climatização (ar-condicionado) quase por completo, à exceção de dois momentos em que a T_{flex} toma o valor de 18,46°C ficando com um valor de temperatura inferior ao de $T_{conforto}$ que nessa altura se encontra a 18,59°C. É de notar que os períodos em que a T_{flex} toma o valor mais baixo, não só corresponde ao período de tarifa mínima como também correspondem aos valores de $T_{int\ s/\ AC}$. Conclui-se que a otimização do sistema de climatização (ar-condicionado) permite a desativação, do mesmo, por quase todo o período de tempo analisado. Na Tabela 5.2 verificam-se os valores de temperatura máxima e mínima correspondente a cada temperatura analisada.

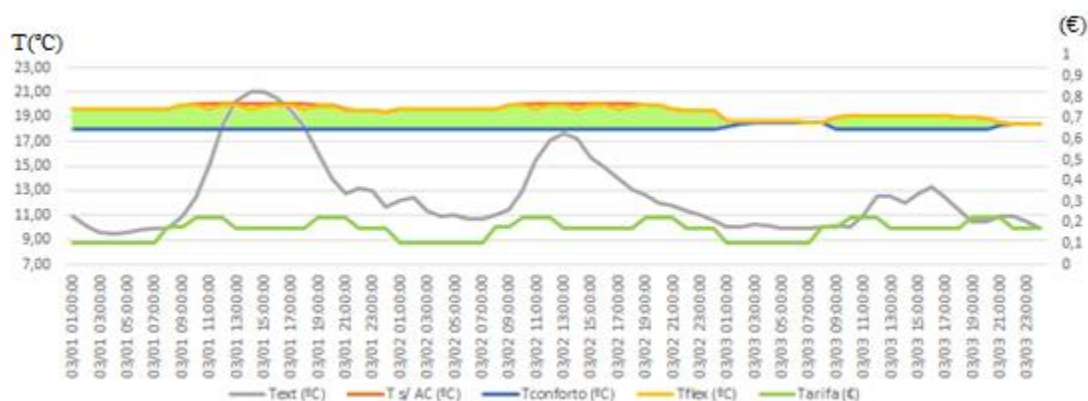


Figura 5.13: Flexibilização do sistema de ar-condicionado – Porto – Cubo – Parede simples – Inverno

Tabela 5.2: Tmax e Tmin – Porto – Cubo – Parede simples – Inverno

	Text	Tint s/ AC	Tint c/ Sistema HVAC	Tint flexibilizada
Máxima	21,00	20,10	18,59	19,99
Mínima	9,50	18,46	18,00	18,46

Retomando à análise da solução construtiva Cubo – Ganhos Diurnos, na zona climática de Lisboa, mas aplicando uma alteração da tarifa de eletricidade, Figura 5.14, verifica-se uma alteração da utilização de flexibilidade energética aplicada ao sistema de climatização (ar-condicionado). Na tarifa tri-horária (Figura 5.14 b)), quando comparada com a tarifa bi-horária (Figura 5.14 a)) observa-se uma menor flexibilização associada ao sistema de climatização (ar-condicionado). Importa saber se para o caso em estudo essa diminuição de flexibilização se reflete num aumento de custos, algo que só será analisado no subcapítulo 5.5 - Custo por kWh do Ar-condicionado.



Figura 5.14: Flexibilização energética – a) Tarifa Bi-horária Vs. b) Tri-horária

5.4 Ganhos Internos Otimizados

Definida a temperatura de conforto (T_{conforto}), e a temperatura otimizada (T_{flex}), é possível inverter-se o processo e obter o valor dos ganhos internos correspondente a essa temperatura. Os ganhos internos contemplam os ganhos térmicos brutos (Q_g), e os ganhos no interior da habitação associados aos equipamentos, ocupação e iluminação. Otimizado o sistema, aos ganhos internos são adicionados os ganhos correspondentes ao sistema de climatização (ar-condicionado).

Através da análise dos gráficos presentes na Figura 5.15, correspondentes à solução construtiva Cubo – Vidro duplo (árgon) (Tabela 4.6), na zona climática de Évora verifica-se que apesar de haver uma variação da temperatura interior, $T_{\text{int s/AC}}$, os ganhos internos, $Q_{\text{s/AC}}$, são constantes. Para o caso em análise não se consideraram ganhos no interior da habitação e os ganhos térmicos brutos, Q_g , foram calculados como constantes, variando apenas do período de verão para o período de inverno, como explicado em 3.1.

Uma vez que a temperatura de conforto, T_{conforto} , se manteve constante ao longo de todo o período, cada vez que se verifica uma descida de temperatura de $T_{\text{int s/ AC}}$ verifica-se simultaneamente uma diminuição dos ganhos internos de conforto, Q_{conforto} . Sempre que T_{conforto} e T_{flex} se encontram à mesma temperatura os seus ganhos internos são muito idênticos.

O valor máximo de ganhos internos de otimização, $Q_{\text{flexibilização}}$, corresponde ao período de tarifa média. Este fenómeno é propositado uma vez que o período de tarifa média antecede sempre a um período de tarifa máxima. Com o objetivo de se desativar o ar-condicionado no período de tarifa máxima, o maior período de tempo possível, diferencia-se ao máximo a T_{flex} da $T_{\text{int s/ AC}}$ para que a T_{depois} de flexibilização tenha uma maior variação e se possível corresponda aos valores estipulados que permitem a desativação do sistema de climatização (ar-condicionado), minimizando os custos da hora de tarifa mais elevada. Isto sucede, pois, ao baixar os valores de temperatura, no caso de um período de perdas de calor, vai haver calor que se acumula nas paredes da habitação e que será consumido nas horas seguintes.

Segundo a análise feita, Évora é um município com temperaturas muito elevadas no verão e medianas na estação de aquecimento. Feita a análise às soluções construtivas estudadas para o município de Évora conclui-se que a solução construtiva Cubo – Parede simples (Tabela 4.3) é a mais adequada pois na estação de aquecimento mantém a temperatura interior da habitação nos 18°C, Figura E.1, sem necessidade de sistema de climatização (ar-condicionado) e na estação de arrefecimento a temperatura ronda os 29°C, Figura E.2. No caso da solução construtiva Cubo – Vidro duplo (árgon) (Tabela 4.6), tal como nas restantes soluções construtivas de pano duplo e parede dupla, Figura E.3, o calor acumula-se nas paredes na estação de arrefecimento aumentando a temperatura interior $T_{\text{int s/ AC}}$ para os 31°C. Já na estação de aquecimento esta temperatura aumenta dos 18°C para os 19°C quando comparada com a $T_{\text{int s/ AC}}$ da solução construtiva Cubo – Parede simples.

Posto isto observa-se que no inverno quando otimizado o sistema nenhuma das soluções tem necessidade de acionamento do sistema de climatização (ar-condicionado), já na estação de arrefecimento todas as soluções necessitam de ativação do mesmo. Quando comparados os ganhos internos necessários para ativação do sistema de ar condicionado, conclui-se que a solução construtiva com menor necessidade de consumo é a solução Cubo – Parede simples (Tabela 4.3). Nesta análise não foram tidas em consideração as soluções construtivas Cubo – Ganhos Diurnos (Tabela 4.7) e Cubo – Ganhos Noturnos (Tabela 4.8) pois a utilização dos equipamentos é uma imposição que estaria presente em todas as soluções construtivas.



Figura 5.15: a) Flexibilização Energética; b) Ganhos internos (Évora – Cubo – Vidro duplo (árgon) – Verão)

Ao analisar a solução construtiva Cubo -Parede Simples (Tabela 4.3) na zona climática de Lisboa, no período de arrefecimento, Figura 5.16, observa-se que tanto a temperatura de conforto como a temperatura otimizada se mantêm constantes ao longo de todo o período. Uma vez que a temperatura $T_{int \text{ s/ AC}}$ atinge valores elevados, na ordem dos 29°C, a temperatura T_{depois} tanto de conforto como de flexibilização nunca consegue atingir valores suficientemente baixos para que seja possível a desativação do sistema de climatização (ar-condicionado). Na figura em análise é notória a importância da flexibilização do sistema. Observa-se que os ganhos internos correspondentes à temperatura de conforto, $Q_{conforto}$, são quase três vezes superiores aos gastos pelo sistema otimizado, $Q_{flexibilização}$.

Quando comparada a solução construtiva Cubo – Parede Simples com as restantes soluções construtivas na zona climática de Lisboa, Figura E.4 - Figura E.8, observa-se que novamente a solução construtiva de parede simples é a que requer menos consumo do sistema de climatização (ar-condicionado).

Comparados os resultados dos ganhos internos da solução construtiva Cubo – Padrão (Tabela 4.2) com a solução construtiva Cubo – Parede dupla (Tabela 4.4) verifica-se que os gastos da solução de parede dupla são ligeiramente superiores na estação de arrefecimento e idênticos na estação de aquecimento.

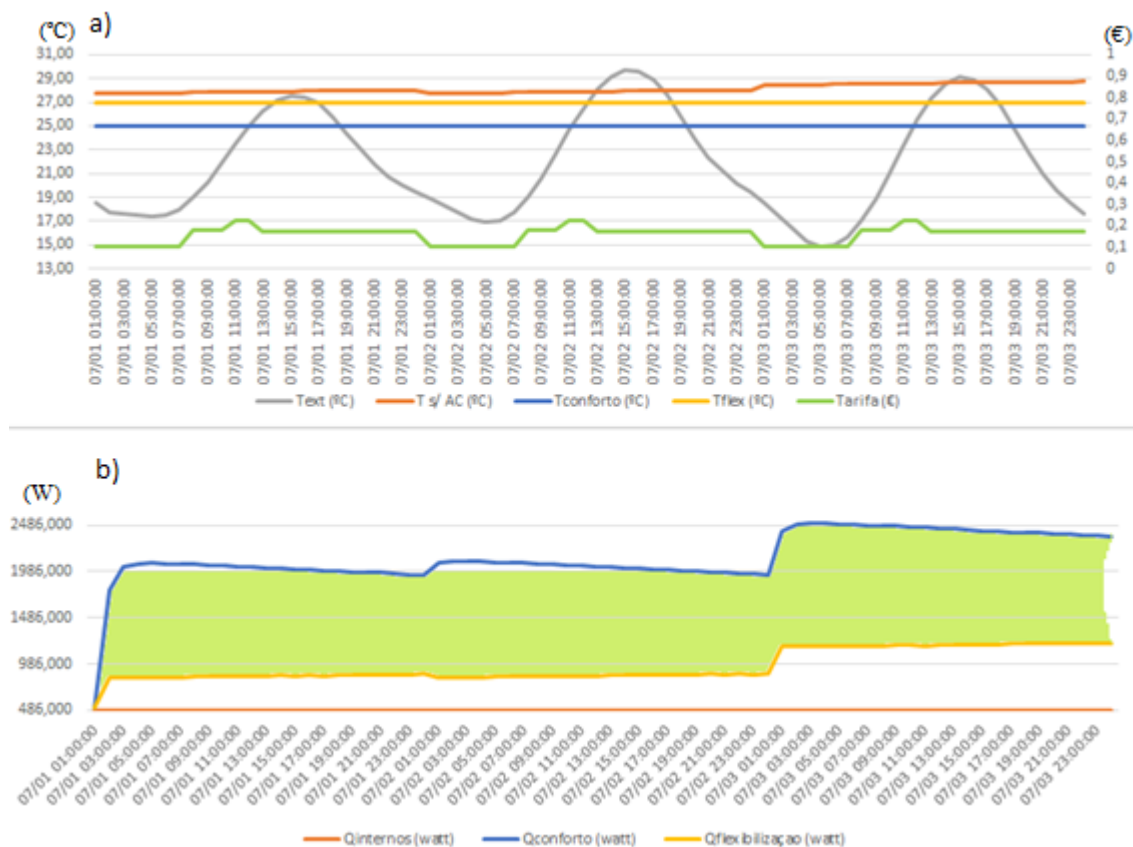


Figura 5.16: a) Flexibilização Energética b) Ganhos internos (Lisboa – Cubo – Parede simples – Verão)

Finaliza-se o subcapítulo com a análise à zona climática do Porto, Figura 5.17. Ao analisar a solução climática Cubo – Padrão (Tabela 4.2) na estação de aquecimento verifica-se que a temperatura exterior atinge valores elevados, chegando aos 21°C, Figura E.13. Nesta situação a habitação sem sistema de climatização atinge temperaturas superiores à temperatura máxima estipulada pelo utilizador.

Nestas circunstâncias a FFLEX segue os mesmos procedimentos que seguiria numa situação em que a temperatura $T_{\text{int s/ AC}}$ atingisse valores muito baixos, à exceção que no presente caso se verificam perdas de calor em vez de ganhos como seria de esperar no período de inverno.

Ao analisar as restantes soluções construtivas na estação de aquecimento, (Figura E.10 e Figura E.12), observa-se que quer a solução construtiva Cubo -Padrão (Tabela 5.3) quer Cubo – Parede Dupla (Tabela E.37), têm ganhos internos mais elevados que a solução construtiva de parede simples, atingindo os 1800W, Tabela 5.3. Com isto seria de esperar que novamente a solução construtiva de parede simples fosse a mais adequada. No entanto é necessária uma análise ao período de verão, onde se verifica que a solução de parede simples chega a atingir ganhos internos no valor de 1300W (Tabela E.36). Quando comparadas em simultâneo as estações de aquecimento e de arrefecimento conclui-se que a solução de parede simples é a solução que consome mais energia, quando otimizado o sistema.

Todavia, ainda não se chegou à solução construtiva mais adequada para a zona climática do Porto. Nesta fase é necessário distinguir-se o sistema de climatização utilizado para cumprir o conforto, do sistema de climatização utilizado para otimizar o sistema. Ao analisar o sistema de climatização (ar-condicionado) otimizado verifica-se que ambas as soluções construtivas têm ganhos internos muito similares, quer na estação de aquecimento quer na estação de arrefecimento. Contudo ao analisar os ganhos internos para a temperatura de conforto verifica-se que a solução construtiva Cubo – Padrão necessita de menos energia para cumprir os requisitos de conforto.

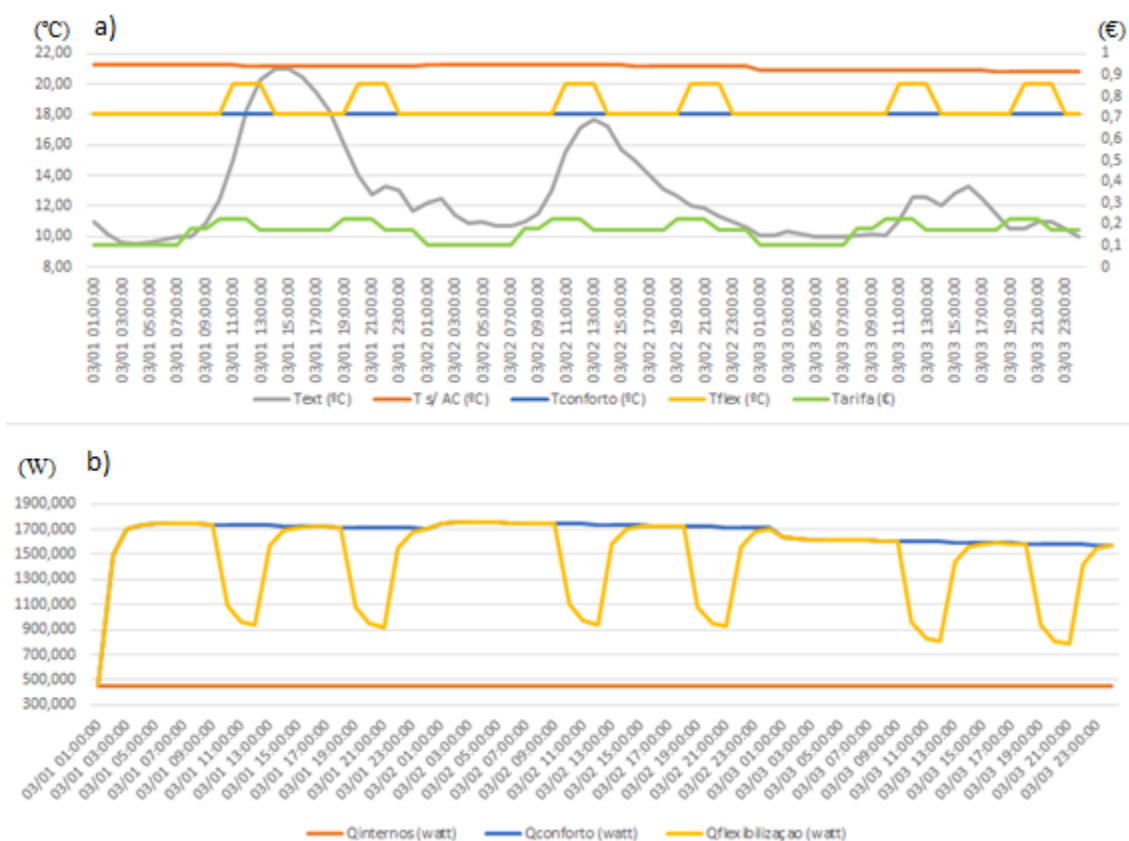


Figura 5.17: a) Flexibilização Energética; b) Ganhos internos – Porto – Cubo – Padrão – Inverno

Tabela 5.3: Q_{max} e Q_{min} – Porto – Cubo – Padrão - Inverno

	Q _{s/ AC}	Q _{conforto}	Q _{flexibilização}
Máxima	444,87	1755,16	1754,91
Mínima	444,87	461,71	461,71

Após as análises feitas às diferentes soluções construtivas nas diferentes zonas climáticas é perceptível a necessidade de flexibilização do sistema de climatização (ar-condicionado). Uma vez que o utilizador decide qual a margem máxima e mínima da temperatura de otimização, este poderá não se encontrar constantemente em conforto térmico, mas encontra-se em neutralidade térmica. A aplicação da flexibilização a sistema de climatização não só diminui o valor dos ganhos internos como possibilita que em diferentes soluções construtivas, na mesma zona climática, se mantenha o mesmo nível de conforto, como observado na análise feita à zona climática do Porto.

5.5 Custo por kWh do Ar-condicionado

No presente subcapítulo, o utilizador toma consciência do impacto orçamental que tem a utilização do sistema de climatização (ar-condicionado), e da sua importância.

Uma vez que são estudados apenas três dias em cada estação do ano, será possível observar-se o custo diário, aplicado ao sistema de climatização (ar-condicionado). Ao período estudado será feita uma estimativa mensal e anual do custo do sistema de climatização (ar-condicionado).

Ao analisar os custos por kWh do consumo de ar-condicionado da solução construtiva com menores ganhos internos, solução de parede simples, na zona climática de Évora constata-se que a otimização do sistema tem influência nos custos diários, Figura 5.18. Observa-se que nos dois primeiros dias os custos são muito similares e no último dia são quase nulos.

Na Tabela 5.4 são apresentados os valores diários do custo por kW. Os custos mensais foram calculados com base na média dos três dias estudados. O cálculo dos custos anuais é executado para apenas 4,07 meses, correspondente ao período de verão. Com a aplicação do sistema de flexibilização prevê-se uma poupança anual, para o período de arrefecimento, de 41,43€. Os custos associados às restantes soluções construtivas avaliadas no subcapítulo anterior, 5.4 - Ganhos Internos Otimizados, estão presentes no Anexo E, Figura E.14 a Figura E.25.

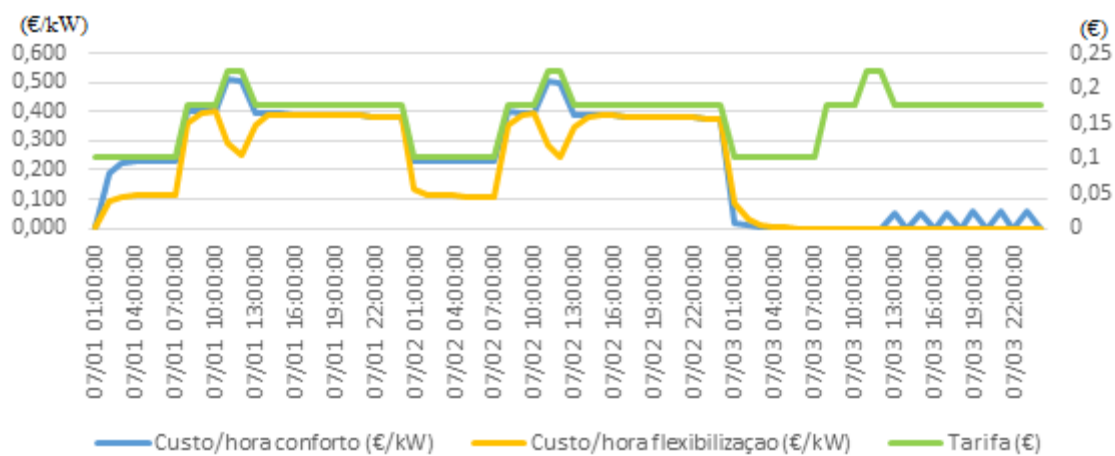


Figura 5.18: Custo/kWh AC- Évora – Cubo – Parede Simples – Verão

Tabela 5.4: Custos/kW AC – Évora – Cubo – Parede Simples - Inverno

	Cconforto	Cflexibilização	
Custo/dia1	8,24 €	6,97 €	
Custo/dia2	8,42 €	7,03 €	
Custo/dia3	0,36 €	0,14 €	
Custo/mês	45,40 €	37,72 €	
	Poupa	41,43 € ano	

Como referido anteriormente, 5.3 - Temperatura Interior Otimizada, os custos associados às diferentes tarifas serão analisados no presente subcapítulo. Ao avaliar a Figura 5.19 e a Tabela 5.5 verifica-se, para os custos de conforto, um custo mensal de 8€ inferior para uma tarifa bi-horária quando comparada com a tarifa tri-horária. Todavia, otimizado o sistema observa-se uma maior flexibilização na aplicação da tarifa Bi-horária, para a solução estudada. Logo, a tarifa mais adequada para a solução em análise é a tarifa bi-horária. A tarifa bi-horária não só gera custos mais reduzidos como permite uma maior flexibilização. Quanto maior a flexibilização maior será o valor a poupar, pelo utilizador.

Tabela 5.5: a) Tarifa Bi-horária; b) Tarifa Tri-horária (Custos/kW AC – Lisboa – Cubo – Ganhos Diurnos – Verão)

a)	Cconforto	Cflexibilização	
Custo/dia1	2,29 €	0,19 €	
Custo/dia2	2,55 €	0,23 €	
Custo/dia3	3,19 €	0,55 €	
Custo/mês	64,29 €	7,81 €	
	Poupa		304,96 € ano
b)	Cconforto	Cflexibilização	
Custo/dia1	2,73 €	1,52 €	
Custo/dia2	2,86 €	1,45 €	
Custo/dia3	3,44 €	1,79 €	
Custo/mês	72,27 €	38,03 €	
	Poupa		184,89 € ano



Figura 5.19: a) Tarifa bi-horária; b) Tarifa tri-horária (Custo/kWh AC- Lisboa – Cubo – Ganhos Diurnos – Verão)

5.6 Potência a Contratar

Otimizado o sistema é possível estimar a potência a contratar. Para definição da potência aparente (S) necessária pelo gerador é essencial saber a potência, em watts, de cada equipamento presente na habitação e o valor horário da potência de todos os equipamentos que serão utilizados em simultâneo.

A potência aparente, S (kVA), corresponde à potência real, P (kW), dividida pelo fator de potência, FP , como referido em 3.2.3 - Módulo de . Considerou-se, como valor padrão de FP , 0,92.

Ao fazer uma análise da solução construtiva Cubo – Padrão nas três zonas climáticas estudadas, verifica-se que Évora tem o maior valor de potência aparente (S), Tabela 5.6. No entanto não significa que a potência a contratar para a zona climática de Évora seja superior às restantes. Existem escalões de potência a contratar, quando calculada a potência aparente, S ,

verifica-se em que escalão se insere o sistema de eletricidade da habitação. Quanto maior o escalão de potência a contratar mais elevados são os preços da tarifa de eletricidade.

Uma vez que não existe qualquer equipamento ou iluminação ativos na presente solução construtiva, os ganhos aparentes devem-se exclusivamente ao sistema de climatização (ar-condicionado). A potência contratada terá de ser superior à maior potência aparente, S , consumida nas duas estações do ano.

Tabela 5.6: Potência a contratar – Cubo - Padrão

Zona Climática / Solução construtiva		Lisboa (kVA)		Porto (kVA)		Évora (kVA)	
Padrão	Otimização	Contforto	Flexibilização	Contforto	Flexibilização	Contforto	Flexibilização
	Inverno	1,1	1,08	1,4	1,4	1,4	0,42
	Verão	1,7	1,7	0,3	0	2,9	2,03

5.7 Potência Ótima do Ar-condicionado

A potência ótima do ar-condicionado é obtida a partir da utilização da flexibilidade energética do sistema. Uma vez que se trata de um ar-condicionado de potência variável é possível identificar qual a melhor potência a adquirir na sua compra.

Foi novamente analisada a solução construtiva Cubo – Padrão. Ao observar a zona climática de Lisboa, na Tabela 5.7, verifica-se que o consumo máximo do sistema de climatização (ar-condicionado) é muito idêntico no verão e no inverno. Na zona climática do Porto, o consumo de energia do sistema de climatização (ar-condicionado) é muito superior no inverno em relação ao verão. Nesta situação, e uma vez que se adquire apenas um sistema de climatização, este necessita no mínimo de uma potência superior à máxima no período inverno. É notória a flexibilização do sistema, na zona climática de Évora, quer na estação de arrefecimento quer na estação de aquecimento. Esta flexibilização reflete-se na potência necessária para a compra do sistema de climatização (ar-condicionado), pois se o utilizador optar pela não utilização da flexibilidade energética do sistema terá de adquirir um ar-condicionado com uma potência bastante mais elevada, quando comparada com o sistema flexibilizado.

Tabela 5.7: Potência ótima do ar-condicionado – Cubo - Padrão

Zona Climática / Solução construtiva		Lisboa (Watt)		Porto (Watt)		Évora (Watt)	
Padrão	Otimização	Contforto	Flexibilização	Contforto	Flexibilização	Contforto	Flexibilização
	Inverno	998,13	909,19	1310,29	1310,03	986,32	109,6
	Verão	1086,69	1080,7	314,97	0,013	2379,81	1867,78

6 Conclusões e Desenvolvimentos Futuros

Para a realização do presente trabalho foi desenvolvida uma ferramenta de avaliação de flexibilidade energética (FFLEX). A FFLEX tem como objetivo estudar o potencial de flexibilidade energética a que se pode sujeitar um sistema de climatização (ar-condicionado), e calcular a potência necessária para o seu funcionamento. A FFLEX foi desenvolvida sob uma folha Microsoft Excel, validada com recurso ao software EnergyPlus. Para validação da FFLEX foi estudada uma fração de um edifício residencial, sujeito a diversas soluções construtivas em três zonas climáticas de Portugal. A habitação foi submetida a diferentes cenários de armazenamento de energia térmica na sua estrutura.

Em suma, utilização da flexibilidade energética obtida pela FFLEX, poderá ser estimada mediante as necessidades de cada utilizador. Para otimizar a sua habitação, cada utilizador, poderá e deverá colocar os dados de entrada e as respetivas condições de fronteira, como: a localização da habitação e a sua solução construtiva; áreas e orientação das paredes exteriores; horário de utilização dos equipamentos, da iluminação e da ocupação no seu interior; o tipo de tarifa de eletricidade e os respetivos custos; e, por fim, a temperatura de conforto e as temperaturas máxima e mínima aceitáveis, quer para a estação de aquecimento quer para a estação de arrefecimento.

Na presente dissertação, a flexibilidade energética é definida como a capacidade de desviar a energia elétrica de um perfil de consumo de referência, sem afetar o conforto térmico durante o processo, gerida de modo a minimizar os custos de consumo do sistema de climatização (ar-condicionado). Deste modo, o potencial de flexibilidade energética da habitação, é testado com base nos: valores de temperatura de conforto; nos valores mínimo e máximo de temperatura aceitáveis termicamente e no tipo de tarifa definido.

Logo, para avaliar o potencial de flexibilidade energética, com recurso à FFLEX, foram estabelecidas regras de funcionamento do sistema de climatização (ar-condicionado). Para a temperatura de conforto, estabelecida pelo utilizador, definiu-se que sempre que a temperatura interior estivesse a $\pm 0,6^{\circ}\text{C}$ da temperatura conforto definida, se acionava o sistema de climatização (ar-condicionado) de forma a se atingir a temperatura de conforto. Para a flexibilização do sistema, as regras impostas, dependem não só da temperatura de conforto definida pelo utilizador como da temperatura máxima e mínima aceitável e da tarifa escolhida.

Relativamente às três zonas climáticas estudadas, estas apresentam fatores exteriores distintos. Assim, a mesma solução construtiva, inserida nas diferentes zonas climáticas, apresenta diferentes valores de temperatura interior. Por consequência, este fator altera o potencial de flexibilização energética que uma solução construtiva poderá apresentar, nas diferentes zonas climáticas. Tendo em consideração que um dos objetivos seria minimizar os gastos de energia do

sistema de climatização (ar-condicionado), a solução construtiva mais adequada numa zona climática, não é necessariamente a solução mais adequada nas restantes. Ao estudar a zona climática de Évora, Lisboa e Porto, conclui-se que a solução construtiva de parede simples (Tabela 4.3) é a solução mais adequada para a zona de Évora e Lisboa. Relativamente à zona climática do Porto, conclui-se que a solução construtiva mais adequada é a solução de pano duplo (Tabela 4.4), pois é necessária menos energia para manter a habitação a uma temperatura confortável, quando comparada com as restantes soluções estudadas.

O custo da tarifa depende da potência contratada. Para o caso de estudo foram consideradas tarifas de eletricidade equivalentes a uma potência contratada superior a 6,9kVA. Conclui-se, ao observar os resultados obtidos que a potência contratada é excessiva e por consequência o valor de tarifa poderia ser inferior. Todavia, verificou-se que quanto maior a utilização da flexibilidade energética do sistema de climatização (ar-condicionado), maior seria a poupança mensal, aplicada aos custos de eletricidade.

Para o caso de estudo considera-se um sistema de climatização (ar-condicionado) de controlo de volume variável, pois é o sistema mais versátil, considerando a sua utilização no período de verão e de inverno.

Conclui-se, a fim de minimizar os custos inerentes ao sistema de climatização, que é possível que a FFLEX seja utilizada na decisão da solução construtiva, de modo a sincronizar o sector de engenharia civil com o sector energético, com base nas condições de fronteira do local e nas características padrão de conforto. Ao se utilizar a FFLEX antes da realização do projeto, considerando condições de conforto padrão é possível minimizar a necessidade de flexibilização do sistema e respetivos custos associados.

Deste modo, como desenvolvimentos futuros seria interessante que à FFLEX, fosse imposta uma total otimização do sistema de climatização, uma vez que a otimização executada na presente dissertação é apenas parcial. Também seria interessante que a FFLEX fosse utilizada por engenheiros civis antes da decisão da solução construtiva, não só para estudar o potencial de flexibilidade energético do edifício e respetivos equipamentos como viabilizar a solução construtiva mais adequada ao local de execução. Seria também interessante que a FFLEX, fosse uma ferramenta online, de acesso a um maior número de utilizadores.

Referências

- [1] S. Ø. Jensen *et al.*, “IEA EBC Annex 67 Energy Flexible Buildings,” *Energy Build.*, 2017.
- [2] U. S. D. of Energy, “Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, ‘EnergyPlus,’” 2018.
- [3] J. M. S. JABARDO, *Conforto Térmico das Habitações*. São Paulo, 1984.
- [4] S. R. Schiffer and A. B. Frota, *Manual de Conforto Térmico: arquitetura, urbanismo*. 2001.
- [5] R. J. De Dear and G. S. Brager, “Thermal comfort in naturally ventilated buildings: Revisions to ASHRAE Standard 55,” in *Energy and Buildings*, 2002.
- [6] P. O. Fanger, *Thermal Comfort Analysis and Applications in Environmental Engineering*. 1970.
- [7] “Reference number ISO 7730:2005(E) ISO 7730 Third edition ISO 7730:2005(E),” 2005.
- [8] F. M. A. Henriques, *COMPORTAMENTO HIGROTÉRMICO DE EDIFÍCIOS*. 2011.
- [9] BERGLUND, L.G.; GONZALEZ, R.R, “Occupant Acceptability of Eight Hour Long Temperature Ramps in the Summer at Low and High Humidities. In: ASHRAE Transactions.,” vol. 84, pp. 278–284, 1978.
- [10] M. A. Humphreys and J. Fergus Nicol, “The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in every-day thermal environments,” in *Energy and Buildings*, 2002.
- [11] “Estratégia Europa 2020 | Comissão Europeia.” .
- [12] “Relatório do Estado do Ambiente REA 2013 Portugal AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE.”
- [13] D. D. de S. de P. e Estatística, “Direção Geral de Energia e Geologia,” *Principais Indicadores Energéticos - Consumo de Energia*, 2013. .
- [14] P. E. do Conselho, “Directiva 2006/32/CE,” *J. Of. da União Eur.*, 2006.
- [15] L. Montuori, M. Alcázar-Ortega, C. Álvarez-Bel, and A. Domijan, “Integration of renewable energy in microgrids coordinated with demand response resources: Economic evaluation of a biomass gasification plant by Homer Simulator,” *Appl. Energy*, 2014.
- [16] R. BECKER, ““What is an ‘Intelligent Building’; In: Proceedings of IB/IC Intelligent Buildings Congress,” Telaviv, 1995.
- [17] A. Kujuro and H. Yasuda, “Systems evolution in intelligent buildings,” *IEEE Commun. Mag.*, 1993.
- [18] M. R. Finley, A. Karakura, and R. Nbogni, “Survey of Intelligent Building Concepts,” *IEEE Commun. Mag.*, 1991.
- [19] B. M. FLAX, “Intelligent Buildings,” vol. 29, pp. 24–26, 1991.
- [20] P. Seljom, K. B. Lindberg, A. Tomasgard, G. Doorman, and I. Sartori, “The impact of Zero Energy Buildings on the Scandinavian energy system,” *Energy*, 2017.
- [21] M. Alais and S. Gon, “Melisandra Alais dos Santos Gonçalves Estudo da flexibilidade energética através da gestão temporal de cargas térmicas,” 2016.
- [22] “Ecocasa.” .
- [23] R. Jorge and C. Nunes, “Análise Comparativa de Tecnologias para Domótica.”

- [24] EDP, “Eficiência Energética,” 2018. .
- [25] G. Reynders, J. Diriken, and D. Saelens, “Generic characterization method for energy flexibility: Applied to structural thermal storage in residential buildings,” *Appl. Energy*, 2017.
- [26] R. G. Junker *et al.*, “Characterizing the energy flexibility of buildings and districts,” *Appl. Energy*, vol. 225, no. April, pp. 175–182, 2018.
- [27] M. H. Albadi and E. F. El-Saadany, “Demand response in electricity markets: an overview,” in *In: IEEE Power Engineering Society General Meeting, 24-28 June, 2007*.
- [28] B. Jiang and Y. Fei, “Dynamic Residential Demand Response and Distributed Generation Management in Smart Microgrid with Hierarchical Agents,” *Energy Procedia*, vol. 12, pp. 76–90, 2011.
- [29] S. Ø. Jensen, “Energy Flexible Buildings IEA EBC Annex 67 Operating Agent Energy flexibility in buildings: a key asset in the future energy system Barcelona,” 2018.
- [30] R. A. Lopes, A. Chambel, J. Neves, D. Aelenei, and J. Martins, “A Literature Review of Methodologies Used to Assess the Energy Flexibility of Buildings,” in *Energy Procedia*, 2016.
- [31] S. [PT] EDP, Energias de Portugal, “Tarifas Baixa Tensão Normal até 20,7kVA.” .
- [32] L. SANTOS, Pina dos; MATIAS, *ITE 50, Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios. Versão actualizada 2006*. 2018.
- [33] P. H. G. D. geral Cabral, “Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013,” 2013.
- [34] “RCCTE.”
- [35] E. Nominais, A. D. E. Energia, and T. I. L. P. Aquecimento, *Despacho nº15793-I/2013*, no. 41. 2013.
- [36] D. Aelenei, “REH Light: Manual de apoio à aplicação da regulamentação referente ao comportamento térmico de edifícios de habitação,” p. 68, 2016.
- [37] “Inércia térmica - Futureng.” .
- [38] “Volume Variável do Refrigerante | Daikin.” .
- [39] “Weather Data by Region | EnergyPlus.” .

Anexos

Anexo A – Dados necessários ao Cálculo do Balanço Energético

Tabela A.1: Valores de resistência térmica dos espaços de ar não ventilados R_{ar}

Direção e sentido do fluxo de calor	Espessura (mm)	R_{ar} [m ² .°C/W]
Horizontal	< 5	0,00
	5	0,11
	10	0,15
	15	0,17
	25 a 300	0,18
Vertical ascendente	< 5	0,00
	5	0,11
	10	0,15
	15 a 300	0,16
Vertical descendente	< 5	0,00
	5	0,11
	10	0,15
	15	0,17
	25	0,19
	50	0,21
	100	0,22
	300	0,23

Tabela A.2: Exemplos de caixilharias

Caixilharia	F_g	
	Sem quadrícula	Com quadrícula
Alumínio ou aço	0,70	0,60
Madeira ou PVC	0,65	0,57
Fachada-cortina de alumínio ou aço	0,90	-

Tabela A.3: Exemplos de fatores solares de vãos envidraçados

Composição do vidro		$g_{L,vt}$
Vidro Simples	Incolor 4mm	0,88
	Incolor 5mm	0,87
	Incolor 6mm	0,85
	Incolor 8mm	0,82
	Colorido na massa 4mm	0,70
	Colorido na massa 5mm	0,65
	Colorido na massa 6mm	0,60
	Colorido na massa 8mm	0,50
	Refletante Incolor 4 a 8mm	0,60
	Refletante colorido na massa 4 a 5mm	0,50
	Refletante colorido na massa 6 a 8mm	0,45
	Fosco	(1)
Vidro Duplo (ext + int)	Incolor 4 a 8mm + Incolor 4 mm	0,78
	Incolor 4 a 8mm + Incolor 5 mm	0,75
	Colorido na massa 4mm + Incolor 4 a 8 mm	0,60
	Colorido na massa 5mm + Incolor 4 a 8 mm	0,55
	Colorido na massa 6mm + Incolor 4 a 8 mm	0,50
	Colorido na massa 8mm Incolor 4 a 8 mm	0,45
	Refletante Incolor 4 a 8mm + Incolor 4 a 8 mm	0,52
	Refletante colorido na massa 4 a 5mm + Incolor 4 a 8 mm	0,40
	Refletante colorido na massa 6 a 8mm + Incolor 4 a 8 mm	0,35
	Tijolo de Vidro	0,57
	Fosco	(1)

(1) – Nas situações de vidro fosco, podem ser utilizados valores de fator solar correspondentes às soluções de vidro incolor de igual composição.

Tabela A.4: Definição da cor da fachada de acordo com a tonalidade

Cor	a
Clara (branco, creme, amarelo, laranja, vermelho-claro)	0,4
Média (vermelho-escuro, verde-claro, azul claro)	0,5
Escura (castanho, verde-escuro, azul-vivo, azul-escuro)	0,8

Tabela A.5: Exemplos de proteções do vão envidraçado

Tipo de Proteção		g_{TVC}					
		Vidro Simples			Vidros Duplos		
		Clara	Média	Escura	Clara	Média	Escura
Proteções exteriores	Portada de madeira	0,04	0,07	0,09	0,03	0,05	0,06
	Persiana de réguas de madeira	0,05	0,08	0,10	0,04	0,05	0,07
Proteções exteriores	Persiana de réguas metálicas ou plásticas	0,07	0,10	0,13	0,04	0,07	0,09
	Estore veneziano de lâminas de madeira	-	0,11	-	-	0,08	-
	Estore veneziano de lâminas metálicas	-	0,14	-	-	0,09	-
	Lona opaca	0,07	0,09	0,12	0,04	0,06	0,08
	Lona pouco transparente	0,14	0,17	0,19	0,10	0,12	0,14
	Lona muito transparente	0,21	0,23	0,25	0,16	0,18	0,2
Proteções interiores	Estores de lâminas	0,45	0,56	0,65	0,47	0,59	0,69
	Cortinas opacas	0,33	0,44	0,54	0,37	0,46	0,55
	Cortinas ligeiramente transparentes	0,36	0,46	0,56	0,38	0,47	0,56
	Cortinas transparentes	0,38	0,48	0,58	0,39	0,48	0,58
	Cortinas muito transparentes	0,70	-	-	0,63	-	-
	Portadas opacas	0,30	0,40	0,50	0,35	0,46	0,58
	Persianas	0,35	0,45	0,57	0,40	0,55	0,65
	Proteção entre dois vidros: estore veneziano, lâminas delgadas	-	-	-	0,28	0,34	0,40

Tabela A.6: Consumo padrão dos equipamentos

Equipamento	Potência (W)
Aparelhagem	150
Aspirador	600
Caldeira	2000
Computador	300
Esquentador	6000
Exaustor	150
Ferro de Engomar	1000
Forno elétrico	1000
Frigorífico	300
Impressora	45
Maq. de Café	600
Maq. Lavar Loiça	1500
Maq. Lavar Roupa	1000
Maq. Secar Roupa	3500
Microondas	1000
Placa Eletrica	6000
Robot de cozinha	500
Secador de cabelo	1000
Televisão	90

Tabela A.7: Metabolismo humano

	W/m ²	met *
Repouso		
Dormir	40	0,7
Reclinado	45	0,8
Sentado	60	1,0
De pé (sem movimento)	70	1,2
Marcha		
0,9 m/s (3,2 km/h)	115	2,0
1,3 m/s (4,8 km/h)	150	2,6
1,8 m/s (6,4 km/h)	220	3,8
Actividade em escritório		
Leitura	55	1,0
Escrita	60	1,0
Trabalho em computador	65	1,1
Arquivar (sentado)	70	1,2
Arquivar (de pé)	80	1,4
Andar	100	1,7
Arrumações	120	2,1
Outras Actividades		
Cozinhar	95 - 115	1,6 - 2,0
Limpeza doméstica	115 - 200	2,0 - 3,4
Trabalho c/ máquinas leves	115 - 140	2,0 - 2,4
Trabalho c/ máquinas pesadas	235	4,0
Dança	140 - 255	2,4 - 4,4
Exercício físico	175 - 235	3,0 - 4,0

Tabela A.8: Resistências térmicas superficiais

Sentido do fluxo de calor	Resistência térmica superficial [(m ² .°C)/W]	
	exterior <i>R_{se}</i>	interior <i>R_{si}</i>
Horizontal ⁽¹⁾	0,04	0,13
Vertical ⁽²⁾		
ascendente	0,04	0,10
descendente	0,04	0,17

1 – Paredes (até +/- 30° com a vertical)

2 – Coberturas e pavimentos (até +/- 60° com a horizontal)

Tabela A.9: NUTS III, estação de aquecimento

NUTS III	z	M		GC		$\theta_{ext,i}$		G _{sul}
	REF	REF	a	REF	a	REF	a	kWh/m ²
	m	mes	mês/Km	°C	°C/m	°C	°C/Km	mês
Minho - Lima	268	7,2	1	1629	1,5	8,2	-5	130
Alto Trás-os-Montes	680	7,3	0	2015	1,4	5,5	-4	125
Cávado	171	6,8	1	1491	1,3	9	-6	125
Ave	426	7,2	0	1653	1,5	7,8	-6	125
Grande Porto	94	6,2	2	1250	1,6	9,9	-7	130
Tâmega	320	6,7	0	1570	1,6	7,8	-5	135
Douro	579	6,9	0	1764	1,4	6,3	-4	135
Entre Douro e Vouga	298	6,9	1	1544	1,4	8,4	-5	135
Baixo Vouga	50	6,3	2	1337	1,1	9,5	-5	140
Baixo Mondego	67	6,3	0	1304	1	9,7	-5	140
Beira Interior Norte	717	7,5	0	1924	1	6,3	-3	135
Beira Interior Sul	328	5,4	1	1274	1,8	9,1	-6	140
Cova da Beira	507	7,1	0	1687	1,4	7,5	-5	140
Serra da Estrela	553	7,5	0	1851	1,6	7	-5	135
Dão - Lafões	497	7,3	0	1702	1,9	7,5	-6	135
Pinhal Interior Norte	361	6,8	0	1555	1,6	8,3	-5	140
Pinhal Interior Sul	361	6,7	1	1511	1,5	8,4	-4	145
Pinhal Litoral	126	6,6	0	1323	1,9	9,6	-5	140
Oeste	99	5,6	0	1165	2,2	10,3	-8	145
Médio Tejo	168	5,9	0	1330	1,3	9,5	-4	145
Lezíria do Tejo	73	5,2	3	1135	2,7	10,2	-7	145
Grande Lisboa	109	5,3	3	1071	1,7	10,8	-4	150
Península de Setúbal	47	4,7	0	1045	1,5	10,7	-4	145
Alto Alentejo	246	5,3	2	1221	1,2	9,6	-3	145
Alentejo Central	221	5,3	2	1150	1,1	10	-4	150
Alentejo Litoral	88	5,3	2	1089	1,1	10,8	-2	150
Baixo Alentejo	178	5	0	1068	1	10,7	-2	155
Algarve	145	4,8	0	987	1,8	11,3	-6	155

Tabela A.10: Fator de orientação para as diferentes exposições X_j

Orientação do vão (j)	N	NE/NW	S	SE/SW	E/W	H
X_j	0,27	0,33	1	0,84	0,56	0,89

Tabela A.11: Fração envidraçada

Caixilharia	F_g	
	Sem quadrícula	Com quadrícula
Alumínio ou aço	0,70	0,60
Madeira ou PVC	0,65	0,57
Fachada-cortina de alumínio ou aço	0,90	-

Tabela A.12: Valores do fator de sombreamento do horizonte F_h na estação de aquecimento

Ângulo do horizonte	Portugal Continental e RAA Latitude de 39°						RAM Latitude de 33°					
	H	N	NE/ NW	E/W	SE/ SW	S	H	N	NE/ NW	E/W	SE/ SW	S
0°	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10°	0,99	1	0,96	0,94	0,96	0,97	1	1	0,96	0,96	0,97	0,98
20°	0,95	1	0,96	0,84	0,88	0,90	0,96	1	0,91	0,87	0,90	0,93
30°	0,82	1	0,85	0,71	0,68	0,67	0,88	1	0,85	0,75	0,77	0,80
40°	0,67	1	0,81	0,61	0,52	0,50	0,71	1	0,81	0,64	0,59	0,58
45°	0,62	1	0,80	0,58	0,48	0,45	0,64	1	0,80	0,60	0,53	0,51

Tabela A.13: Valores de fator de sombreamento de elementos horizontais F_0 na estação de aquecimento

Ângulo da pala horizontal	Portugal Continental e RAA Latitude de 39°					RAM Latitude de 33°				
	N	NE/ NW	E/W	SE/ SW	S	N	NE/ NW	E/W	SE/ SW	S
0°	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
30°	1	0,94	0,84	0,76	0,73	1	0,92	0,82	0,68	0,45
45°	1	0,90	0,74	0,63	0,59	1	0,88	0,72	0,60	0,56
60°	1	0,85	0,64	0,49	0,44	1	0,83	0,62	0,48	0,43

Tabela A.14: Valores de fatores de sombreamento de elementos verticais F_f na estação de aquecimento

Posição da pala	Ângulo	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Pala à esquerda	0°	1	1	1	1	1	1	1	1
	30°	1	1	1	0,97	0,93	0,91	0,87	0,89
	45°	1	1	1	0,95	0,88	0,86	0,8	0,84
Pala à direita	60°	1	1	1	0,91	0,83	0,79	0,72	0,8
	0°	1	1	1	1	1	1	1	1
	30°	1	0,89	0,87	0,91	0,93	0,97	1	1
	45°	1	0,84	0,8	0,86	0,88	0,95	1	1
	60°	1	0,8	0,72	0,79	0,83	0,91	1	1

Tabela A.15: Fator solar do vidro para uma incidência solar normal

Composição do vidro		$g_{l,vt}$
Vidro Simples	Incolor 4mm	0,88
	Incolor 5mm	0,87
	Incolor 6mm	0,85
	Incolor 8mm	0,82
	Colorido na massa 4mm	0,70
	Colorido na massa 5mm	0,65
	Colorido na massa 6mm	0,60
	Colorido na massa 8mm	0,50
	Refletante Incolor 4 a 8mm	0,60
	Refletante colorido na massa 4 a 5mm	0,50
	Refletante colorido na massa 6 a 8mm	0,45
	Fosco	(1)
Vidro Duplo (ext + int)	Incolor 4 a 8mm + Incolor 4 mm	0,78
	Incolor 4 a 8mm + Incolor 5 mm	0,75
	Colorido na massa 4mm + Incolor 4 a 8 mm	0,60
	Colorido na massa 5mm + Incolor 4 a 8 mm	0,55
	Colorido na massa 6mm + Incolor 4 a 8 mm	0,50
	Colorido na massa 8mm Incolor 4 a 8 mm	0,45
	Refletante Incolor 4 a 8mm + Incolor 4 a 8 mm	0,52
	Refletante colorido na massa 4 a 5mm + Incolor 4 a 8 mm	0,40
	Refletante colorido na massa 6 a 8mm + Incolor 4 a 8 mm	0,35
	Tijolo de Vidro	0,57
	Fosco	(1)

(1) – Nas situações de vidro fosco, podem ser utilizados valores de fator solar correspondentes às soluções de vidro incolor de igual composição.

Tabela A.16: NUTS III, estação de arrefecimento

NUTS III	$\theta_{ext,v}$		Isol (kWh/m ² acumulados de Junho a Setembro)									
	REF	a	0°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°
	°C	°C/Km		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
Minho - Lima	20,5	-4	785	220	345	475	485	4255	485	475	345	
Alto Trás-os-Montes	21,5	-7	790	220	345	480	485	425	485	480	345	
Cávado	20,7	-3	795	220	345	485	490	425	490	485	345	
Ave	20,8	-3	795	220	350	490	490	425	490	490	350	
Grande Porto	20,9	0	800	220	350	490	490	425	490	490	350	
Tâmega	21,4	-3	800	220	350	490	490	425	490	490	350	
Douro	22,7	-6	805	220	350	490	490	425	490	490	350	
Entre Douro e Vouga	20,6	-3	805	220	350	490	490	425	490	490	350	
Baixo Vouga	20,6	-2	810	220	355	490	490	420	490	490	355	
Baixo Mondego	20,9	0	825	225	360	495	495	420	495	495	360	
Beira Interior Norte	21,7	-5	820	220	355	495	500	425	500	495	355	
Beira Interior Sul	25,3	-7	830	220	360	500	495	420	495	500	360	
Cova da Beira	22,5	-6	825	225	360	495	495	425	495	495	360	
Serra da Estrela	21	-4	820	225	355	495	495	420	495	495	355	
Dão - Lafões	21,2	-3	815	220	355	495	490	415	490	495	355	
Pinhal Interior Norte	21,2	-2	825	220	357	500	495	420	495	500	357	
Pinhal Interior Sul	22,4	-3	830	225	360	500	500	420	500	500	360	
Pinhal Litoral	20,1	-2	830	225	360	500	4495	415	495	500	360	
Oeste	21	0	830	225	360	500	495	415	495	500	360	
Médio Tejo	22,1	-7	835	220	360	500	495	415	495	500	360	
Lezíria do Tejo	23,1	-6	835	225	365	500	495	410	495	500	365	
Grande Lisboa	21,7	-10	840	225	365	500	495	410	495	500	365	
Península de Setúbal	22,8	-5	845	225	365	505	495	410	495	505	365	
Alto Alentejo	24,5	0	845	225	365	505	500	415	500	505	365	
Alentejo Central	24,3	0	850	225	370	510	500	415	500	510	370	
Alentejo Litoral	22,2	0	850	225	365	510	495	405	495	510	365	
Baixo Alentejo	24,7	0	855	225	370	510	495	405	495	510	370	
Algarve	23,1	0	865	225	375	515	500	405	500	515	375	

Tabela A.17: Valores de fatores de sombreamento de elementos horizontais F_o na estação de arrefecimento

Ângulo da pala horizontal	Portugal Continental e RAA Latitude de 39°					RAM Latitude de 33°				
	N	NE/NW	E/W	SE/SW	S	N	NE/NW	E/W	SE/SW	S
0°	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
30°	0,98	0,86	0,75	0,68	0,63	0,97	0,84	0,74	0,69	0,68
45°	0,97	0,78	0,64	0,57	0,55	0,95	0,76	0,63	0,60	0,62
60°	0,94	0,70	0,55	0,50	0,52	0,92	0,68	0,55	0,54	0,60

Tabela A.18: Valores de fatores de sombreamento de elementos verticais F_f na estação de arrefecimento

Posição da pala	Ângulo	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Pala à esquerda	0°	1	1	1	1	1	1	1	1
	30°	1	1	0,96	0,91	0,91	0,96	0,95	0,86
	45°	1	1	0,96	0,85	0,87	0,95	0,93	0,78
	60°	1	1	0,95	0,77	0,84	0,93	0,88	0,69
Pala à direita	0°	1	1	1	1	1	1	1	1
	30°	1	0,86	0,95	0,96	0,91	0,91	0,96	1
	45°	1	0,78	0,93	0,95	0,87	0,85	0,96	1
	60°	1	0,69	0,88	0,93	0,84	0,77	0,95	1

Tabela A.19: Fração de tempo em que os dispositivos móveis se encontram ativados, $F_{m,v}$

Orientação do vão	N	NE/NW	S	SE/SW	E/W	H
F_{mv}	0	0,4	0,6	0,7	0,6	0,9

Tabela A.20: Fator de correção da seletividade angular dos envidraçados na estação de arrefecimento, $F_{w,v}$

Orientação do vão	$F_{w,v}$				
	N	NE/NW	S	SE/SW	E/W
Vidro plano simples	0,85	0,90	0,80	0,90	0,90
Vidro plano duplo	0,80	0,85	0,75	0,85	0,85

Tabela A.21: Valores correntes do fator solar de vãos envidraçados com vidro corrente e dispositivos de proteção solar, g_{Tvc}

Tipo de Proteção		g_{Tvc}					
		Vidro Simples			Vidros Duplos		
		Clara	Média	Escura	Clara	Média	Escura
Proteções exteriores	Portada de madeira	0,04	0,07	0,09	0,03	0,05	0,06
	Persiana de réguas de madeira	0,05	0,08	0,10	0,04	0,05	0,07
Proteções exteriores	Persiana de réguas metálicas ou plásticas	0,07	0,10	0,13	0,04	0,07	0,09
	Estore veneziano de lâminas de madeira	-	0,11	-	-	0,08	-
	Estore veneziano de lâminas metálicas	-	0,14	-	-	0,09	-
	Lona opaca	0,07	0,09	0,12	0,04	0,06	0,08
	Lona pouco transparente	0,14	0,17	0,19	0,10	0,12	0,14
	Lona muito transparente	0,21	0,23	0,25	0,16	0,18	0,2
Proteções interiores	Estores de lâminas	0,45	0,56	0,65	0,47	0,59	0,69
	Cortinas opacas	0,33	0,44	0,54	0,37	0,46	0,55
	Cortinas ligeiramente transparentes	0,36	0,46	0,56	0,38	0,47	0,56
	Cortinas transparentes	0,38	0,48	0,58	0,39	0,48	0,58
	Cortinas muito transparentes	0,70	-	-	0,63	-	-
	Portadas opacas	0,30	0,40	0,50	0,35	0,46	0,58
	Persianas	0,35	0,45	0,57	0,40	0,55	0,65
	Proteção entre dois vidros: estore veneziano, lâminas delgadas	-	-	-	0,28	0,34	0,40

Tabela A.22: Coeficiente de absorção

Cor	a
Clara (branco, creme, amarelo, laranja, vermelho-claro)	0,4
Média (vermelho-escuro, verde-claro, azul claro)	0,5
Escura (castanho, verde-escuro, azul-vivo, azul-escuro)	0,8

Anexo B – Dados Inseridos pelo Utilizador de Temperatura Exterior

Tabela B.23: Temperatura Exterior na Zona Climática do Lisboa

Lisboa					
Inverno			Verão		
Dias Úteis			Dias Úteis		
Dia/hora	Hora	Temperatura exterior	Dia/hora	Hora	Temperatura exterior
03/01 01:00:00	0	10,22	07/01 01:00:00	0	18,49
03/01 02:00:00	1	10,74	07/01 02:00:00	1	17,75
03/01 03:00:00	2	10,04	07/01 03:00:00	2	17,60
03/01 04:00:00	3	9,34	07/01 04:00:00	3	17,45
03/01 05:00:00	4	8,59	07/01 05:00:00	4	17,40
03/01 06:00:00	5	7,84	07/01 06:00:00	5	17,50
03/01 07:00:00	6	7,60	07/01 07:00:00	6	18,01
03/01 08:00:00	7	8,11	07/01 08:00:00	7	19,01
03/01 09:00:00	8	9,16	07/01 09:00:00	8	20,31
03/01 10:00:00	9	10,66	07/01 10:00:00	9	21,86
03/01 11:00:00	10	12,36	07/01 11:00:00	10	23,51
03/01 12:00:00	11	14,01	07/01 12:00:00	11	25,01
03/01 13:00:00	12	15,36	07/01 13:00:00	12	26,26
03/01 14:00:00	13	16,31	07/01 14:00:00	13	27,16
03/01 15:00:00	14	16,85	07/01 15:00:00	14	27,55
03/01 16:00:00	15	16,80	07/01 16:00:00	15	27,45
03/01 17:00:00	16	16,09	07/01 17:00:00	16	26,89
03/01 18:00:00	17	14,89	07/01 18:00:00	17	25,84
03/01 19:00:00	18	13,54	07/01 19:00:00	18	24,44
03/01 20:00:00	19	12,34	07/01 20:00:00	19	22,99
03/01 21:00:00	20	11,39	07/01 21:00:00	20	21,74
03/01 22:00:00	21	10,64	07/01 22:00:00	21	20,74
03/01 23:00:00	22	10,00	07/01 23:00:00	22	20,00
03/01 24:00:00	23	9,50	07/01 24:00:00	23	19,45
03/02 01:00:00	0	9,25	07/02 01:00:00	0	18,90
03/02 02:00:00	1	9,15	07/02 02:00:00	1	18,30
03/02 03:00:00	2	9,05	07/02 03:00:00	2	17,75
03/02 04:00:00	3	8,95	07/02 04:00:00	3	17,20
03/02 05:00:00	4	8,85	07/02 05:00:00	4	16,90
03/02 06:00:00	5	8,75	07/02 06:00:00	5	17,05
03/02 07:00:00	6	8,80	07/02 07:00:00	6	17,71
03/02 08:00:00	7	9,21	07/02 08:00:00	7	18,96

03/02 09:00:00	8	10,11	07/02 09:00:00	8	20,62
03/02 10:00:00	9	11,41	07/02 10:00:00	9	22,57
03/02 11:00:00	10	12,86	07/02 11:00:00	10	24,62
03/02 12:00:00	11	14,31	07/02 12:00:00	11	26,52
03/02 13:00:00	12	15,46	07/02 13:00:00	12	28,06
03/02 14:00:00	13	16,26	07/02 14:00:00	13	29,16
03/02 15:00:00	14	16,75	07/02 15:00:00	14	29,70
03/02 16:00:00	15	16,70	07/02 16:00:00	15	29,60
03/02 17:00:00	16	16,09	07/02 17:00:00	16	28,89
03/02 18:00:00	17	15,09	07/02 18:00:00	17	27,59
03/02 19:00:00	18	13,89	07/02 19:00:00	18	25,83
03/02 20:00:00	19	12,84	07/02 20:00:00	19	23,99
03/02 21:00:00	20	11,99	07/02 21:00:00	20	22,39
03/02 22:00:00	21	11,30	07/02 22:00:00	21	21,14
03/02 23:00:00	22	10,80	07/02 23:00:00	22	20,19
03/02 24:00:00	23	10,40	07/02 24:00:00	23	19,44
03/03 01:00:00	0	10,20	07/03 01:00:00	0	18,59
03/03 02:00:00	1	10,15	07/03 02:00:00	1	17,54
03/03 03:00:00	2	10,10	07/03 03:00:00	2	16,44
03/03 04:00:00	3	10,10	07/03 04:00:00	3	15,34
03/03 05:00:00	4	10,05	07/03 05:00:00	4	14,80
03/03 06:00:00	5	10,00	07/03 06:00:00	5	15,00
03/03 07:00:00	6	10,05	07/03 07:00:00	6	15,71
03/03 08:00:00	7	10,30	07/03 08:00:00	7	17,06
03/03 09:00:00	8	10,81	07/03 09:00:00	8	18,92
03/03 10:00:00	9	11,46	07/03 10:00:00	9	21,07
03/03 11:00:00	10	12,21	07/03 11:00:00	10	23,37
03/03 12:00:00	11	13,01	07/03 12:00:00	11	25,52
03/03 13:00:00	12	13,65	07/03 13:00:00	12	27,26
03/03 14:00:00	13	14,10	07/03 14:00:00	13	28,51
03/03 15:00:00	14	14,35	07/03 15:00:00	14	29,10
03/03 16:00:00	15	14,30	07/03 16:00:00	15	28,95
03/03 17:00:00	16	14,00	07/03 17:00:00	16	28,14
03/03 18:00:00	17	13,44	07/03 18:00:00	17	26,69
03/03 19:00:00	18	12,80	07/03 19:00:00	18	24,73
03/03 20:00:00	19	12,25	07/03 20:00:00	19	22,68
03/03 21:00:00	20	11,80	07/03 21:00:00	20	20,94
03/03 22:00:00	21	11,45	07/03 22:00:00	21	19,59
03/03 23:00:00	22	11,15	07/03 23:00:00	22	18,49
03/03 24:00:00	23	10,90	07/03 24:00:00	23	17,64

Tabela B.24: Temperatura Exterior na Zona Climática do Porto

Porto					
Inverno			Verão		
Dias Úteis			Dias Úteis		
Dia/hora	Hora	Temperatura exterior	Dia/hora	Hora	Temperatura exterior
03/01 01:00:00	0	10,94	07/01 01:00:00	0	14,89
03/01 02:00:00	1	10,14	07/01 02:00:00	1	13,64
03/01 03:00:00	2	9,65	07/01 03:00:00	2	12,90
03/01 04:00:00	3	9,50	07/01 04:00:00	3	12,45
03/01 05:00:00	4	9,60	07/01 05:00:00	4	12,25
03/01 06:00:00	5	9,80	07/01 06:00:00	5	12,15
03/01 07:00:00	6	9,95	07/01 07:00:00	6	13,12
03/01 08:00:00	7	10,00	07/01 08:00:00	7	14,56
03/01 09:00:00	8	10,91	07/01 09:00:00	8	15,86
03/01 10:00:00	9	12,41	07/01 10:00:00	9	17,87
03/01 11:00:00	10	15,03	07/01 11:00:00	10	19,51
03/01 12:00:00	11	18,32	07/01 12:00:00	11	20,00
03/01 13:00:00	12	20,31	07/01 13:00:00	12	20,51
03/01 14:00:00	13	21,00	07/01 14:00:00	13	21,00
03/01 15:00:00	14	21,00	07/01 15:00:00	14	21,00
03/01 16:00:00	15	20,49	07/01 16:00:00	15	21,00
03/01 17:00:00	16	19,49	07/01 17:00:00	16	19,48
03/01 18:00:00	17	18,19	07/01 18:00:00	17	17,85
03/01 19:00:00	18	16,18	07/01 19:00:00	18	17,34
03/01 20:00:00	19	13,98	07/01 20:00:00	19	17,00
03/01 21:00:00	20	12,75	07/01 21:00:00	20	16,80
03/01 22:00:00	21	13,26	07/01 22:00:00	21	16,30
03/01 23:00:00	22	12,98	07/01 23:00:00	22	16,00
03/01 24:00:00	23	11,69	07/01 24:00:00	23	15,85
03/02 01:00:00	0	12,21	07/02 01:00:00	0	15,85
03/02 02:00:00	1	12,49	07/02 02:00:00	1	16,00
03/02 03:00:00	2	11,39	07/02 03:00:00	2	15,80
03/02 04:00:00	3	10,90	07/02 04:00:00	3	15,29
03/02 05:00:00	4	11,00	07/02 05:00:00	4	15,00
03/02 06:00:00	5	10,70	07/02 06:00:00	5	15,36
03/02 07:00:00	6	10,71	07/02 07:00:00	6	15,85
03/02 08:00:00	7	11,00	07/02 08:00:00	7	16,51

03/02 09:00:00	8	11,51	07/02 09:00:00	8	17,41
03/02 10:00:00	9	13,02	07/02 10:00:00	9	18,92
03/02 11:00:00	10	15,53	07/02 11:00:00	10	19,49
03/02 12:00:00	11	17,15	07/02 12:00:00	11	18,59
03/02 13:00:00	12	17,66	07/02 13:00:00	12	18,61
03/02 14:00:00	13	17,24	07/02 14:00:00	13	17,98
03/02 15:00:00	14	15,74	07/02 15:00:00	14	17,20
03/02 16:00:00	15	15,00	07/02 16:00:00	15	17,20
03/02 17:00:00	16	13,98	07/02 17:00:00	16	17,00
03/02 18:00:00	17	13,15	07/02 18:00:00	17	17,00
03/02 19:00:00	18	12,64	07/02 19:00:00	18	17,00
03/02 20:00:00	19	12,00	07/02 20:00:00	19	16,75
03/02 21:00:00	20	11,85	07/02 21:00:00	20	16,25
03/02 22:00:00	21	11,34	07/02 22:00:00	21	16,00
03/02 23:00:00	22	11,00	07/02 23:00:00	22	16,00
03/02 24:00:00	23	10,59	07/02 24:00:00	23	15,80
03/03 01:00:00	0	10,10	07/03 01:00:00	0	15,80
03/03 02:00:00	1	10,10	07/03 02:00:00	1	16,00
03/03 03:00:00	2	10,30	07/03 03:00:00	2	15,90
03/03 04:00:00	3	10,20	07/03 04:00:00	3	15,39
03/03 05:00:00	4	10,00	07/03 05:00:00	4	15,00
03/03 06:00:00	5	9,95	07/03 06:00:00	5	15,36
03/03 07:00:00	6	9,95	07/03 07:00:00	6	15,85
03/03 08:00:00	7	10,05	07/03 08:00:00	7	16,20
03/03 09:00:00	8	10,15	07/03 09:00:00	8	16,60
03/03 10:00:00	9	10,10	07/03 10:00:00	9	17,41
03/03 11:00:00	10	11,02	07/03 11:00:00	10	18,00
03/03 12:00:00	11	12,56	07/03 12:00:00	11	18,51
03/03 13:00:00	12	12,54	07/03 13:00:00	12	19,51
03/03 14:00:00	13	12,00	07/03 14:00:00	13	19,49
03/03 15:00:00	14	12,81	07/03 15:00:00	14	19,30
03/03 16:00:00	15	13,29	07/03 16:00:00	15	18,79
03/03 17:00:00	16	12,49	07/03 17:00:00	16	18,00
03/03 18:00:00	17	11,49	07/03 18:00:00	17	17,75
03/03 19:00:00	18	10,49	07/03 19:00:00	18	17,25
03/03 20:00:00	19	10,51	07/03 20:00:00	19	17,00
03/03 21:00:00	20	10,95	07/03 21:00:00	20	16,69
03/03 22:00:00	21	10,95	07/03 22:00:00	21	16,20
03/03 23:00:00	22	10,49	07/03 23:00:00	22	16,00
03/03 24:00:00	23	9,95	07/03 24:00:00	23	16,20

Tabela B.25: Temperatura Exterior na Zona Climática do Évora

Évora					
Inverno			Verão		
Dias Úteis			Dias Úteis		
Dia/hora	Hora	Temperatura exterior	Dia/hora	Hora	Temperatura exterior
03/01 01:00:00	0	10,12	07/01 01:00:00	0	20,39
03/01 02:00:00	1	11,30	07/01 02:00:00	1	22,29
03/01 03:00:00	2	11,40	07/01 03:00:00	2	21,04
03/01 04:00:00	3	11,35	07/01 04:00:00	3	20,04
03/01 05:00:00	4	11,20	07/01 05:00:00	4	19,19
03/01 06:00:00	5	11,00	07/01 06:00:00	5	18,39
03/01 07:00:00	6	11,00	07/01 07:00:00	6	18,97
03/01 08:00:00	7	11,10	07/01 08:00:00	7	20,71
03/01 09:00:00	8	11,10	07/01 09:00:00	8	22,26
03/01 10:00:00	9	11,71	07/01 10:00:00	9	23,56
03/01 11:00:00	10	12,86	07/01 11:00:00	10	24,61
03/01 12:00:00	11	14,01	07/01 12:00:00	11	25,66
03/01 13:00:00	12	15,16	07/01 13:00:00	12	26,35
03/01 14:00:00	13	16,31	07/01 14:00:00	13	26,70
03/01 15:00:00	14	17,46	07/01 15:00:00	14	27,05
03/01 16:00:00	15	17,70	07/01 16:00:00	15	27,05
03/01 17:00:00	16	17,10	07/01 17:00:00	16	26,70
03/01 18:00:00	17	16,50	07/01 18:00:00	17	26,35
03/01 19:00:00	18	15,59	07/01 19:00:00	18	25,23
03/01 20:00:00	19	14,39	07/01 20:00:00	19	23,39
03/01 21:00:00	20	13,19	07/01 21:00:00	20	21,53
03/01 22:00:00	21	11,99	07/01 22:00:00	21	20,09
03/01 23:00:00	22	10,79	07/01 23:00:00	22	19,14
03/01 24:00:00	23	9,59	07/01 24:00:00	23	18,19
03/02 01:00:00	0	8,80	07/02 01:00:00	0	17,50
03/02 02:00:00	1	8,40	07/02 02:00:00	1	17,15
03/02 03:00:00	2	8,00	07/02 03:00:00	2	16,80
03/02 04:00:00	3	7,65	07/02 04:00:00	3	16,55
03/02 05:00:00	4	7,40	07/02 05:00:00	4	16,50
03/02 06:00:00	5	7,15	07/02 06:00:00	5	16,45
03/02 07:00:00	6	7,36	07/02 07:00:00	6	16,71
03/02 08:00:00	7	8,01	07/02 08:00:00	7	17,31

03/02 09:00:00	8	8,66	07/02 09:00:00	8	17,90
03/02 10:00:00	9	10,17	07/02 10:00:00	9	18,51
03/02 11:00:00	10	12,42	07/02 11:00:00	10	19,11
03/02 12:00:00	11	14,67	07/02 12:00:00	11	19,71
03/02 13:00:00	12	16,36	07/02 13:00:00	12	19,75
03/02 14:00:00	13	17,51	07/02 14:00:00	13	19,25
03/02 15:00:00	14	18,66	07/02 15:00:00	14	18,75
03/02 16:00:00	15	18,84	07/02 16:00:00	15	18,40
03/02 17:00:00	16	18,20	07/02 17:00:00	16	18,25
03/02 18:00:00	17	17,54	07/02 18:00:00	17	18,10
03/02 19:00:00	18	16,84	07/02 19:00:00	18	17,54
03/02 20:00:00	19	16,09	07/02 20:00:00	19	16,69
03/02 21:00:00	20	15,34	07/02 21:00:00	20	15,84
03/02 22:00:00	21	14,64	07/02 22:00:00	21	15,35
03/02 23:00:00	22	14,00	07/02 23:00:00	22	15,20
03/02 24:00:00	23	13,34	07/02 24:00:00	23	15,05
03/03 01:00:00	0	12,90	07/03 01:00:00	0	14,90
03/03 02:00:00	1	12,75	07/03 02:00:00	1	14,70
03/03 03:00:00	2	12,60	07/03 03:00:00	2	14,50
03/03 04:00:00	3	12,19	07/03 04:00:00	3	14,45
03/03 05:00:00	4	11,65	07/03 05:00:00	4	14,60
03/03 06:00:00	5	11,10	07/03 06:00:00	5	14,75
03/03 07:00:00	6	11,36	07/03 07:00:00	6	15,16
03/03 08:00:00	7	12,46	07/03 08:00:00	7	15,91
03/03 09:00:00	8	13,56	07/03 09:00:00	8	16,66
03/03 10:00:00	9	14,66	07/03 10:00:00	9	17,46
03/03 11:00:00	10	15,76	07/03 11:00:00	10	18,31
03/03 12:00:00	11	16,86	07/03 12:00:00	11	19,16
03/03 13:00:00	12	17,81	07/03 13:00:00	12	20,26
03/03 14:00:00	13	18,61	07/03 14:00:00	13	21,51
03/03 15:00:00	14	19,41	07/03 15:00:00	14	22,76
03/03 16:00:00	15	19,65	07/03 16:00:00	15	23,20
03/03 17:00:00	16	19,30	07/03 17:00:00	16	22,80
03/03 18:00:00	17	18,95	07/03 18:00:00	17	22,40
03/03 19:00:00	18	17,83	07/03 19:00:00	18	21,59
03/03 20:00:00	19	15,88	07/03 20:00:00	19	20,39
03/03 21:00:00	20	13,93	07/03 21:00:00	20	19,19
03/03 22:00:00	21	12,29	07/03 22:00:00	21	18,14
03/03 23:00:00	22	10,89	07/03 23:00:00	22	17,29
03/03 24:00:00	23	9,49	07/03 24:00:00	23	16,44

Anexo C – Introdução de Dados na FFLEX

Tabela C.26: Solução Construtiva Vão Envidraçado

Vãos Envidraçados	Orientação da Vão Envidraçado (preencher apenas para o caso de paredes expostas ao sol/vento)	Orientação	Tipo de vidro		Material				Espaço de Ar				Área [m²]	
					Nome	Espessura (e [m])	Condutibilidade (λ [W/m.K])	R (m².K/W)	Nome	Espessura (e [m])	Condutibilidade (λ [W/m.K])	R (m².K/W)		
		N	-	▼		▼	-	-	0,000	-	-	-	-	-
		NE	-	▼		▼	-	-	0,000	-	-	-	-	-
		E	-	▼		▼	-	-	0,000	-	-	-	-	-
		SE	-	▼		▼	-	-	0,000	-	-	-	-	-
		S	Duplo	▼	Clear 12	▼	0,012	0,9	0,027	Air	0,008	0,023	0,348	2,2
		SW	-	▼		▼	-	-	0,000	-	-	-	-	-
	W	-	▼		▼	-	-	0,000	-	-	-	-	-	
	NW	-	▼		▼	-	-	0,000	-	-	-	-	-	
Caixilharia	Aluminio ou aço	▼	Estrutura	S/ Quadricula	▼									
Proteções do Vão Envidraçado (escolher a predominante)	Proteções exteriores	Persiana de Regua metalicas ou plasticas			▼	Cor	Clara (branco, creme, amarelo, l			▼				
	Proteções interiores				▼	Cor	--			▼				
Tem sombreamento horizontal?	--	▼	Pala de sombreamento à esquerda?			--	▼	Pala de somb. à direita?	--	▼				

Tabela C.27: Ganhos Internos

Ganhos Internos				
Nº de Pessoas	2			
Nº de Luzes	3			
		Qtd.	Potência [kW]	Total [kW]
Equipamentos Electricos	<input checked="" type="checkbox"/> Aparelhagem	1	0,150	0,150
	<input type="checkbox"/> Aspirador	0	0	0,000
	<input type="checkbox"/> Caldeira	0	0	0,000
	<input checked="" type="checkbox"/> Computador	1	0,300	0,300
	<input type="checkbox"/> Esquentador	0	0	0,000
	<input type="checkbox"/> Exaustor	0	0	0,000
	<input type="checkbox"/> Ferro de Engomar	0	0	0,000
	<input type="checkbox"/> Forno Electrico	0	0	0,000
	<input type="checkbox"/> Frigorífico	0	0	0,000
	<input checked="" type="checkbox"/> Impressora	1	0,045	0,045
	<input type="checkbox"/> Maq. de Café	0	0	0,000
	<input type="checkbox"/> Maq. Lavar Loiça	0	0	0,000
	<input type="checkbox"/> Maq. Lavar Roupa	0	0	0,000
	<input type="checkbox"/> Maq. Secar Roupa	0	0	0,000
	<input type="checkbox"/> Microondas	0	0	0,000
	<input type="checkbox"/> Placa Electrica	0	0	0,000
	<input type="checkbox"/> Robot de Cozinha	0	0	0,000
	<input type="checkbox"/> Secador de Cabelo	0	0	0,000
	<input type="checkbox"/> Televisão	0	0	0,000
Equipamentos a Gás	<input type="checkbox"/> Fogão a Gás	0	0	0
	<input type="checkbox"/> Esquentador	0		0

Tabela C.28: Tipo de Tarifa e Horários

Tipo de Tarifa	Tri-horária																															
Inverno																																
Dias Úteis																																
Periodo Horário	Hora de Vazio				Hora de cheia				Hora de Ponta				Hora de Cheia				Hora de Ponta				Hora de Cheia											
Horário h	Das	0h		Às	7h	Das	7h		Às	9h	Das	9h		Às	12h	Das	12h		Às	18h	Das	18h		Às	21h	Das	21h		Às	24h		
Preço €	0,1016				0,177				0,2253				0,1765				0,2253				0,1765											
Fins de Semana	Sábado																				Domingo											
Periodo Horário	Hora de Vazio				Hora de cheia				Hora de Vazio				Hora de Cheia								Horas de Vazio											
Horário h	--		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Preço €	-				-				-				-								-											
Verão																																
Dias Úteis																																
Periodo Horário	Hora de Vazio				Hora de cheia				Hora de Ponta				Hora de Cheia																			
Horário h	Das	0h		Às	7h	Das	7h		Às	10h	10h	--	Das	12h		Às					24h											
Preço €	0,1016				0,177				0,2253				0,1765																			
Fins de Semana	Sábado																															
Periodo Horário	Hora de Vazio				Hora de cheia				Hora de Vazio				Hora de Cheia																			
Horário h	--		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--															
Preço €	-				-				-				-																			
																Domingo																
																Horas de Vazio																
																--																
																--																

Anexo D – Cálculo do Balanço Energético e Respetivas temperaturas pela FFLEX

Tabela D.29: Transferência de calor por transmissão

Transferencia de calor por transmissão								
		R (M2.ºc/W)	Area (m^2)	x	U (W/m2ºc)	=	Htr (W/ºc)	Htr(total)(W/ºc)
envolvente exterior		1,434	9		0,62		5,61	9,65
vão envidraçado	N	0	0		0,00		0,00	
	NE	0	0		0,00		0,00	
	E	0	0		0,00		0,00	
	SE	0	0		0,00		0,00	
	S	0,374	2,2		1,84		4,04	
	SW	0	0		0,00		0,00	
	W	0	0		0,00		0,00	
	NW	0	0		0,00		0,00	

Tabela D.30: Transferência de calor por ventilação

Transferencia de calor por ventilação								
Ap (m2)	x	Pe direito (m)	x	Rph,i	x	0,34	=	Hve,i (W/°c)
9		3,00		0,40		0,34		3,672

Tabela D.31: Ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento

Ganhos termicos na estação de arrefecimento									
Ganhos solares									
Vaos envidraçados									
Orientação	Área	x	Fg	x	gv	=	As,v (m2)		
N	0		0,70		0,00		0		
NE	0				0,00		0		
E	0				0,00		0		
SE	0				0,00		0		
S	2,2				0,15		0,231		
SW	0				0,00		0		
W	0				0,00		0		
NW	0				0,00		0		
	Fm,v	x	Gt	+	gTp	x	(1-Fm,v)	=	gv
N	0		0,00		0,00		1		0
NE	0,4		0,00		0,00		0,6		0
E	0,6		0,00		0,00		0,4		0
SE	0,7		0,00		0,00		0,3		0
S	0,6		0,00		0,38		0,4		0,15
SW	0,7		0,00		0,00		0,3		0
W	0,6		0,00		0,00		0,4		0
NW	0,4		0,00		0,00		0,6		0
	Fh,v	x	Fo,v	x	Ff,v	=	Fs,v		
N	1		1,00		2,00		1		
NE	1		1,00		2,00		1		
E	1		1,00		2,00		1		
SE	1		1,00		2,00		1		
S	1		1,00		2,00		1		
SW	1		1,00		2,00		1		
W	1		1,00		2,00		1		
NW	1		1,00		2,00		1		
	As,v	x	Fs,v	x	Isol	=	Isol*Fs,v*As (KWh/ano)	TOTAL(Isol*Fs,v*As (KWh/ano))	
N	0		1,00		225,00		0	94,71	
NE	0		1,00		365,00		0		
E	0		1,00		500,00		0		
SE	0		1,00		495,00		0		
S	0,231		1,00		410,00		94,71		
SW	0		1,00		495,00		0		
W	0		1,00		500,00		0		
NW	0		1,00		365,00		0		

Envolvente Exterior									
Orientação	α	x	Aop	x	U	x	R.se	=	As
N	0,4		0,00		0,62		0,04		0
NE	0,4		0,00		0,62		0,04		0
E	0,4		0,00		0,62		0,04		0
SE	0,4		0,00		0,62		0,04		0
S	0,4		9,00		0,62		0,04		0,089794
SW	0,4		0,00		0,62		0,04		0
W	0,4		0,00		0,62		0,04		0
NW	0,4		0,00		0,62		0,04		0
Orientação	As	x	Fs	x	Isol	=	Isol*Fs*As (kWh/ano)	TOTAL(Isol*Fs*As (kWh/ano))	
N	0		1,00		225,00		0	36,81538678	
NE	0		1,00		365,00		0		
E	0		1,00		500,00		0		
SE	0		1,00		495,00		0		
S	0,089793626		1,00		410,00		36,81538678		
SW	0		1,00		495,00		0		
W	0		1,00		500,00		0		
NW	0		1,00		365,00		0		
	TOTAL(Isol*Fs,v*As (KWh/ano))	+	TOTAL(Isol*Fs*As (kWh/ano))	=	Qsol				
	94,71		36,82		131,53				
Ganhos Internos									
qint	x	Lv	x	Ap	:	1000	=	Qint,v	
4		2928		9		1000		105,408	
Ganhos térmicos bruto									
Qsol,v	+	Qint,v	=	Qg,v					
131.53		105.408		236.93					

Tabela D.32: Ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento

Ganhos Térmicos na estação de Aquecimento									
Ganhos Solares									
Vãos envidraçados									
Orientação	gi	*	Aw	*	Fs,i	*	Fg	=	As,i
N	0		0,00		1,00		0,70		0
NE	0		0,00		0,80				0
E	0		0,00		0,58				0
SE	0		0,00		0,48				0
S	0,783		2,20		0,45				0,542619
SW	0		0,00		0,48				0
W	0		0,00		0,58				0
NW	0		0,00		0,80				0
Orientação	Fh	*	Fo,i	*	Ff,i	=	Fs,i		
N	1		1,00		2,00		1		
NE	0,8		1,00		2,00		0,8		
E	0,58		1,00		2,00		0,58		
SE	0,48		1,00		2,00		0,48		
S	0,45		1,00		2,00		0,45		
SW	0,48		1,00		2,00		0,48		
W	0,58		1,00		2,00		0,58		
NW	0,8		1,00		2,00		0,8		
Orientação	X	*	As,i	=	X*As,i (m2)	Total(X*As,i)			
N	0,27		0,00		0,00	0,30			
NE	0,33		0,00		0,00				
E	1		0,00		0,00				
SE	0,84		0,00		0,00				
S	0,56		0,54		0,30				
SW	0,84		0,00		0,00				
W	1		0,00		0,00				
NW	0,33		0,00		0,00				
Total(X*As,i)		x	Gsol	x	M (meses)	=	Qsol,i		
0,30			150,00		6,80		309,9439728		
Ganhos Internos									
0,72	x	qint	x	M (meses)	x	Ap	=	Qint,i	
0,72		4,00		6,80		9		176,256	
Ganhos Térmicos Brutos									
Qsol,i	+	Qint,i	=	Qg,i					
309,9439728		176,256		486,199973					

Tabela D.33: Resultados temperatura interior de conforto e de flexibilização

Data/hora	hora	Text (°C)	Tint (°C)	Tdepois	Tconforto (°C)	Tdepois	Tflexibilizada (°C)
03/01 01:00:00	0	10,22	14,75	18,00	18,00	18,00	18,00
03/01 02:00:00	1	10,74	14,75	15,40	18,00	15,70	18,00
03/01 03:00:00	2	10,04	14,74	15,27	18,00	15,51	18,00
03/01 04:00:00	3	9,34	14,74	15,29	18,00	15,55	18,00
03/01 05:00:00	4	8,59	14,74	15,28	18,00	15,54	18,00
03/01 06:00:00	5	7,84	14,73	15,28	18,00	15,53	18,00
03/01 07:00:00	6	7,60	14,73	15,27	18,00	15,53	18,00
03/01 08:00:00	7	8,11	14,72	15,27	18,00	15,52	16,00
03/01 09:00:00	8	9,16	16,38	16,93	18,00	16,79	16,79
03/01 10:00:00	9	10,66	16,88	17,09	18,00	17,02	17,02
03/01 11:00:00	10	12,36	16,88	17,06	18,00	17,01	17,01
03/01 12:00:00	11	14,01	16,88	17,07	18,00	17,02	17,02
03/01 13:00:00	12	15,36	16,88	17,07	18,00	17,02	17,02
03/01 14:00:00	13	16,31	16,88	17,07	18,00	17,02	17,02
03/01 15:00:00	14	16,85	16,88	17,07	18,00	17,02	17,02
03/01 16:00:00	15	16,80	16,88	17,06	18,00	17,02	17,02
03/01 17:00:00	16	16,09	16,87	17,06	18,00	17,02	17,02
03/01 18:00:00	17	14,89	16,87	17,05	18,00	17,01	17,01
03/01 19:00:00	18	13,54	15,68	15,87	18,00	15,82	16,00
03/01 20:00:00	19	12,34	15,33	15,75	18,00	15,61	16,00
03/01 21:00:00	20	11,39	14,83	15,28	18,00	15,16	16,00
03/01 22:00:00	21	10,64	14,68	15,22	18,00	15,15	16,00
03/01 23:00:00	22	10,00	14,68	15,23	18,00	15,15	16,00
03/01 24:00:00	23	9,50	14,67	15,23	18,00	15,15	16,00

Anexo E – Resultados Obtidos

E.1 - Ganhos Internos

E.1.1 – Évora

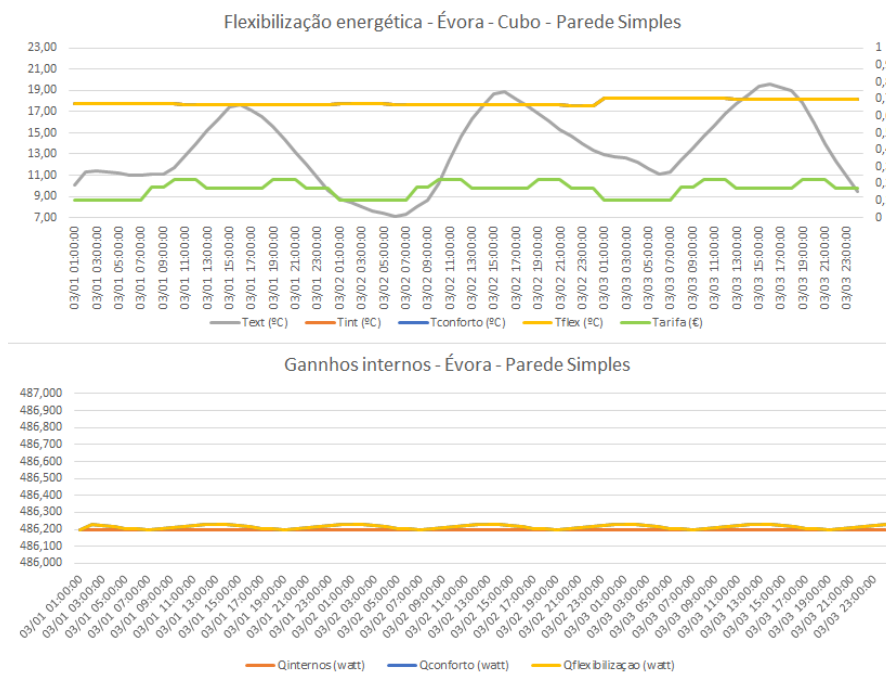


Figura E.1: Ganhos internos – Évora – Cubo – Parede simples – Inverno

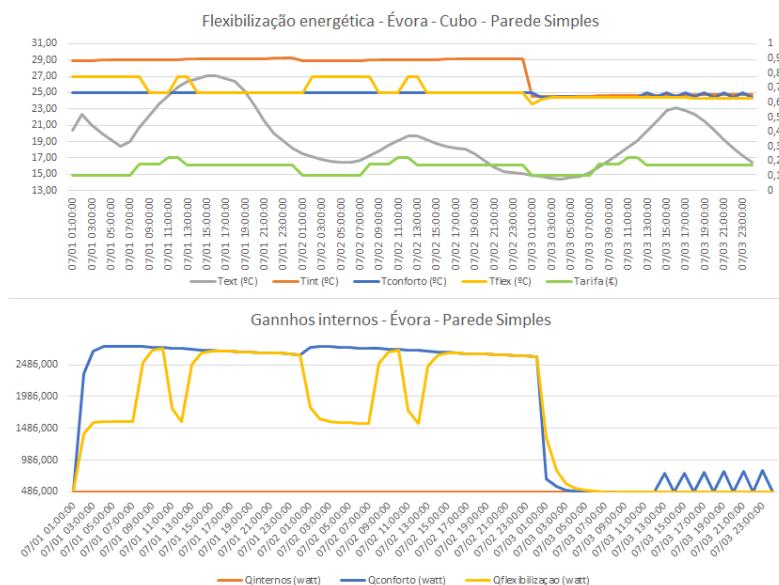


Figura E.2: Ganhos internos – Évora – Cubo – Parede simples – Verão

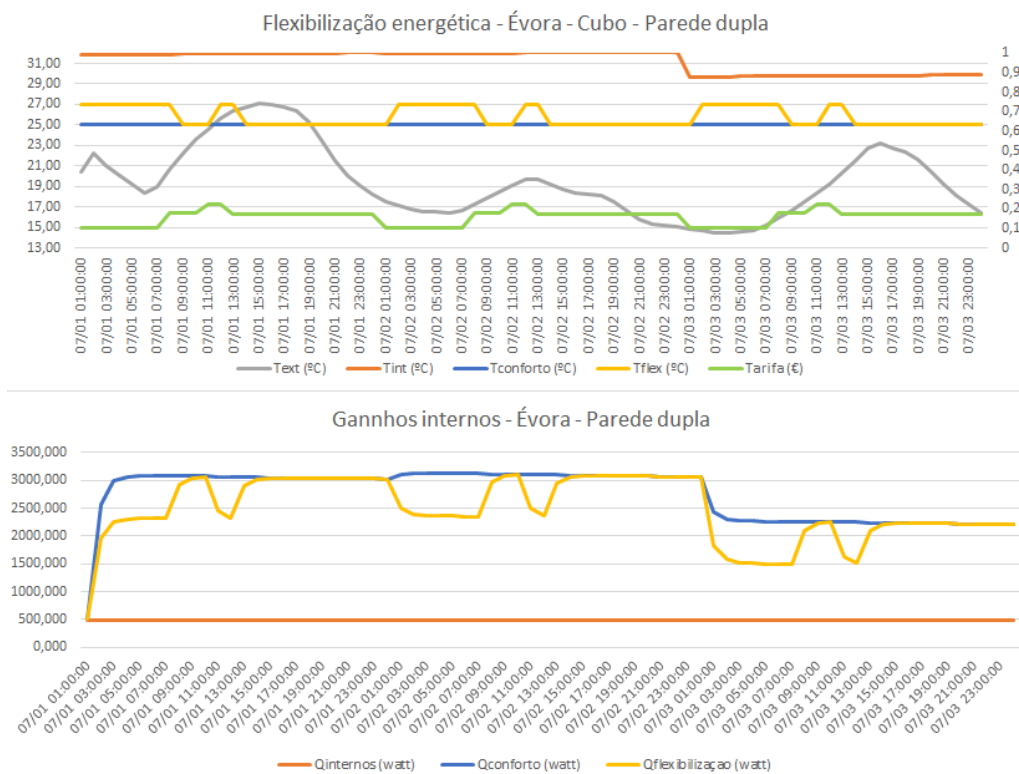


Figura E.3: Ganhos internos – Évora – Cubo – Parede dupla – Verão

E.1.2 – Lisboa

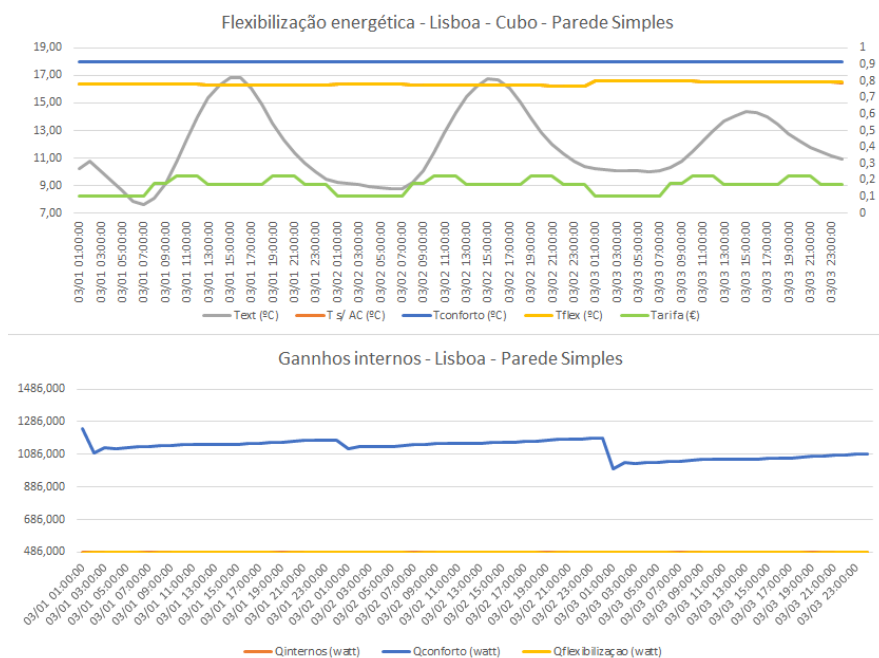


Figura E.4: Ganhos internos – Lisboa – Cubo – Parede Simples – Inverno

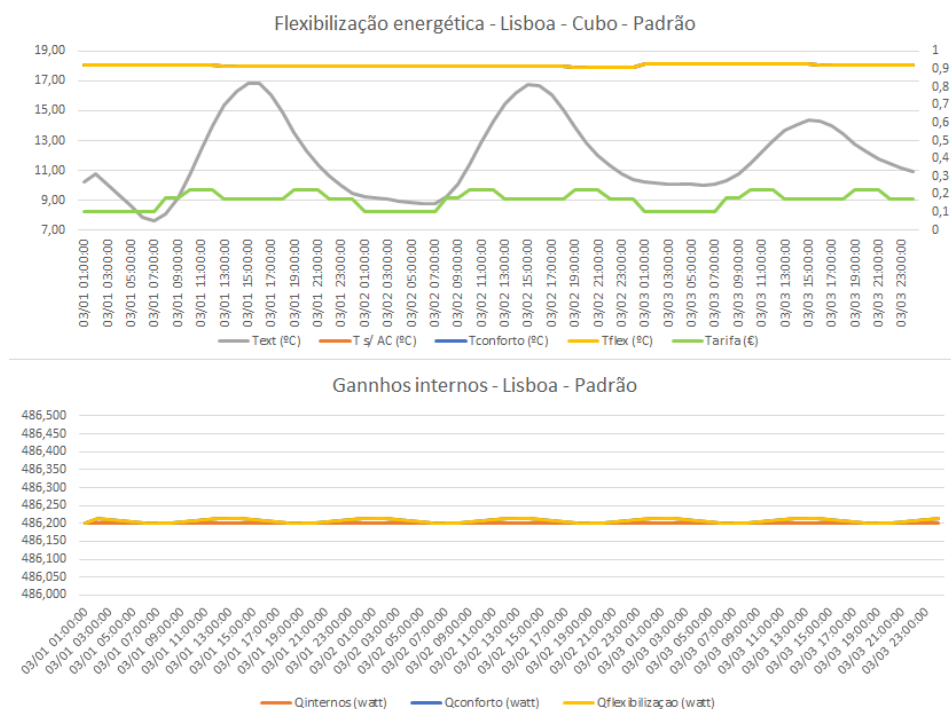


Figura E.5: Ganhos internos – Lisboa – Cubo – Padrão – Inverno

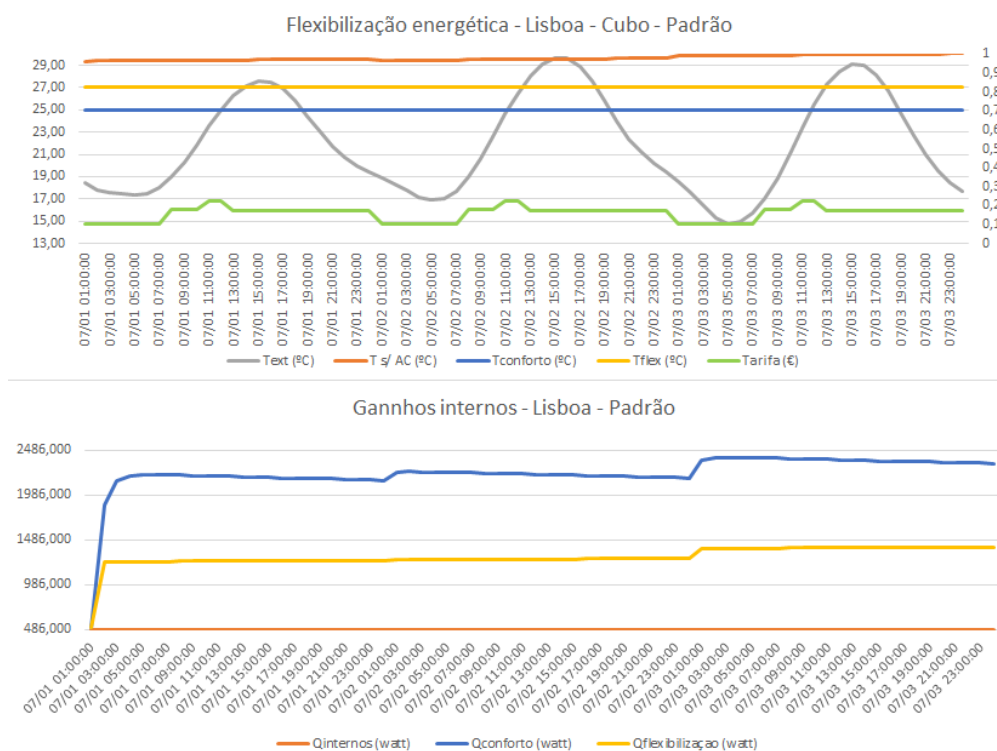


Figura E.6: Ganhos internos – Lisboa – Cubo – Padrão – Verão

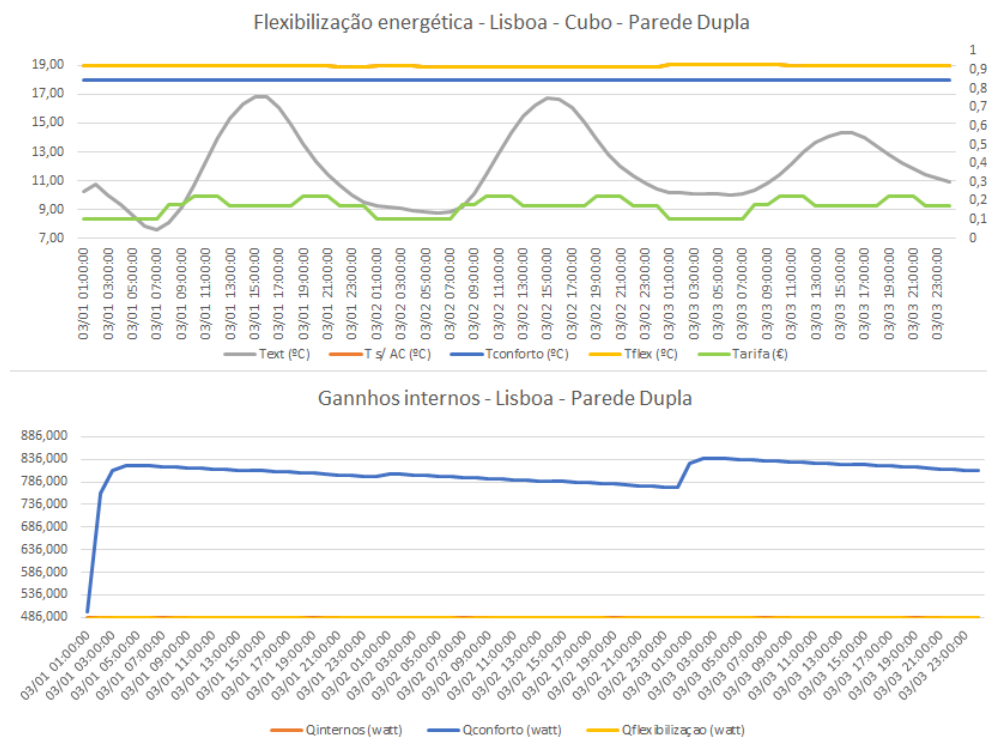


Figura E.7: Ganhos internos – Lisboa – Cubo – Parede Dupla – Inverno

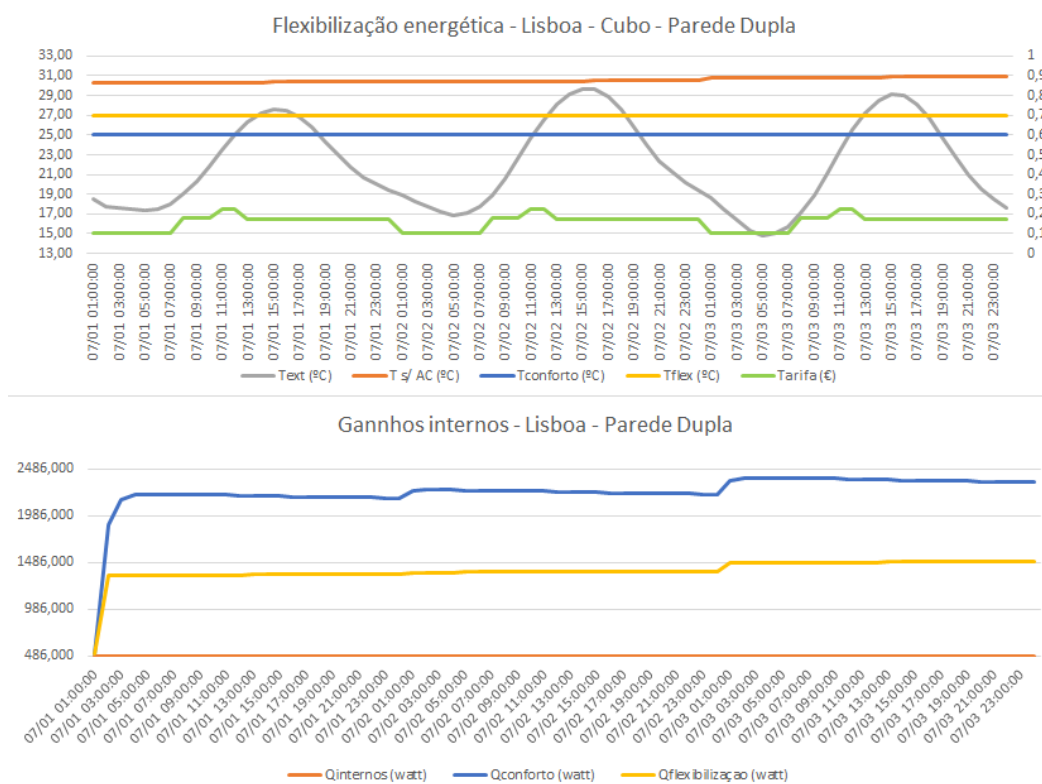


Figura E.8: Ganhos internos – Lisboa – Cubo – Parede Dupla – Verão

E.1.3 - Porto

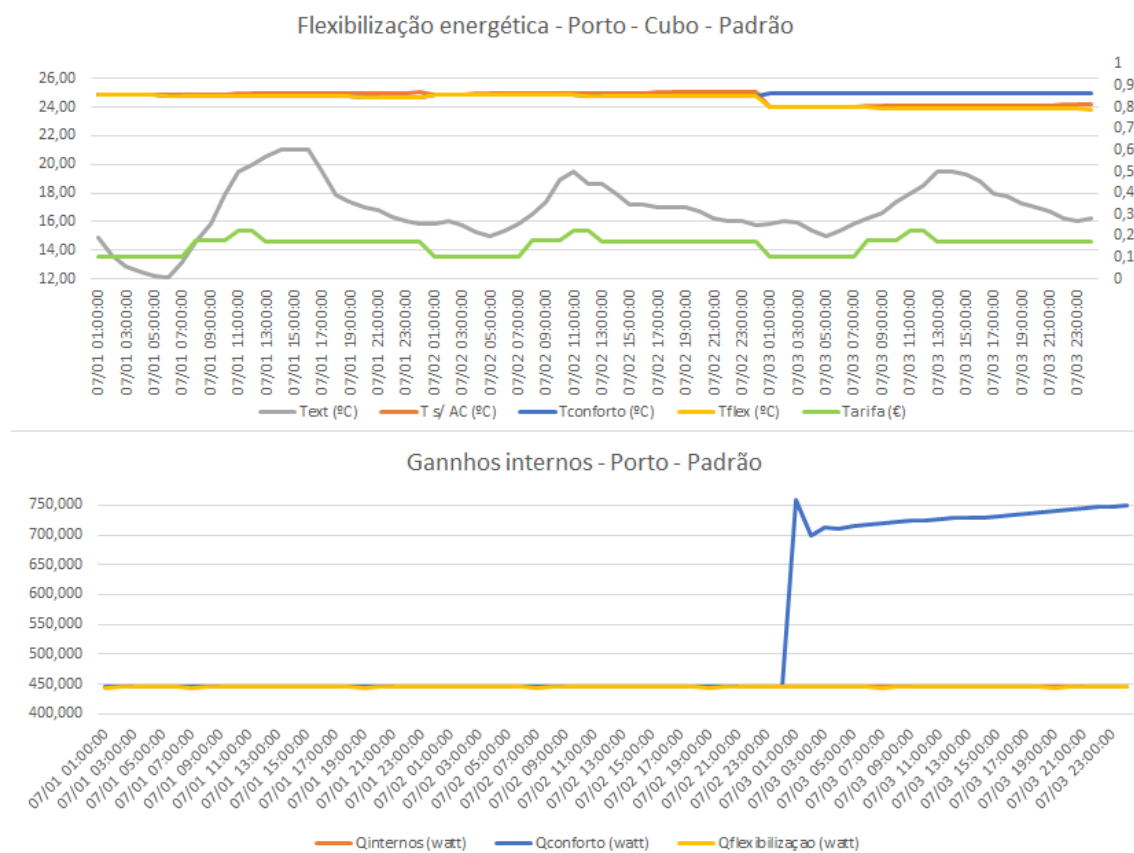


Figura E.9: Ganhos internos – Porto – Cubo – Padrão – Verão

Tabela E.34: Qmax e Qmin – Porto – Cubo – Padrão - Verão

	Q s/ AC	Qconforto	Qflexibilização
Máxima	444,87	759,85	444,89
Mínima	444,87	444,87	444,87

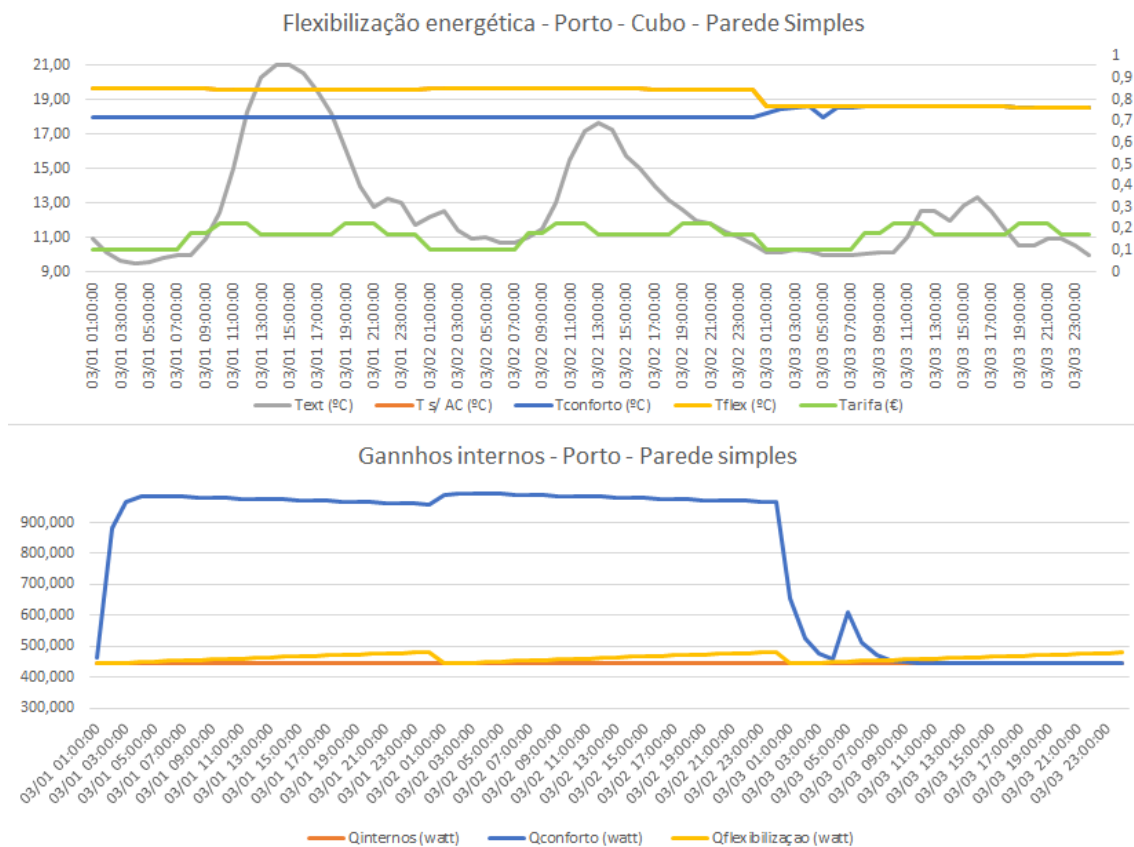


Figura E.10: Ganhos internos – Porto – Cubo – Parede Simples – Inverno

Tabela E.35: Qmax e Qmin – Porto – Cubo – Parede Simples - Inverno

	Q s/ AC	Qconforto	Qflexibilização
Máxima	444,87	995,08	482,46
Mínima	444,87	444,87	444,87

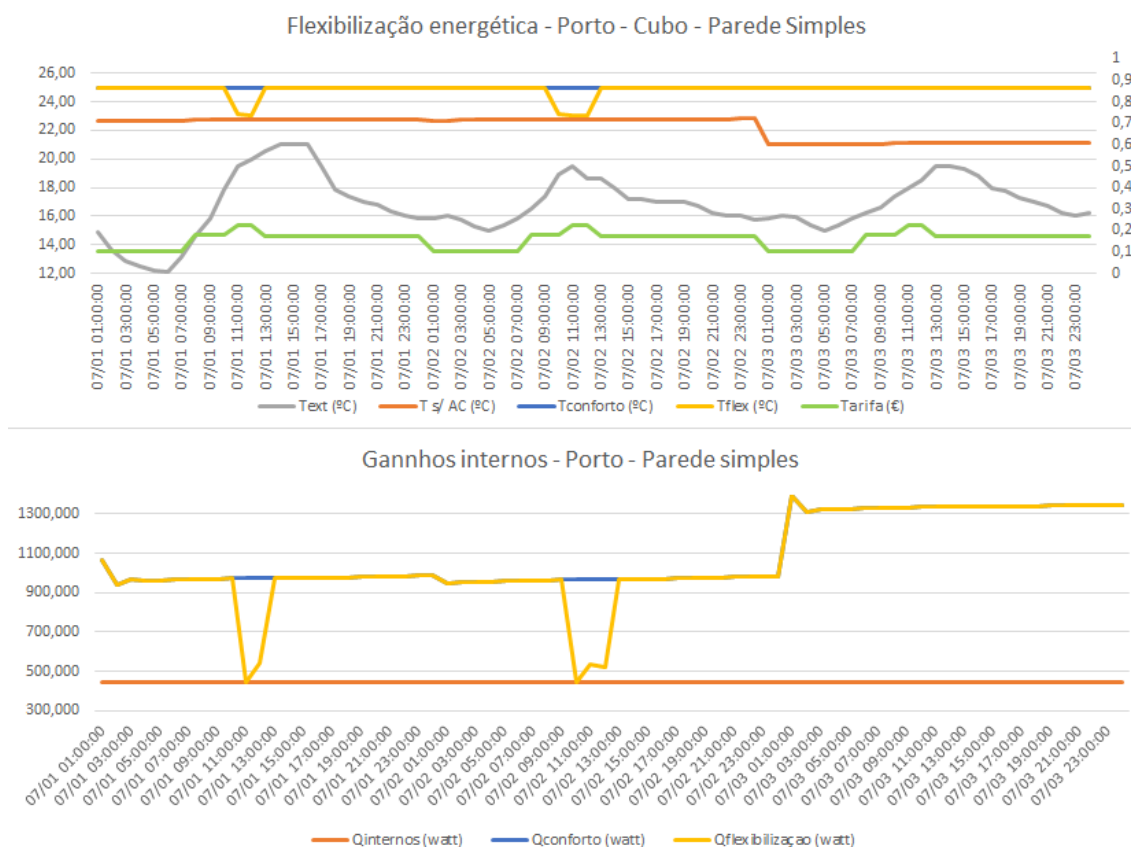


Figura E.11: Ganhos internos – Porto – Cubo – Parede Simples – Verão

Tabela E.36: Qmax e Qmin – Porto – Cubo – Parede Simples - Verão

	Q s/ AC	Qconforto	Qflexibilização
Máxima	444,87	1390,60	1390,60
Mínima	444,87	939,13	444,92

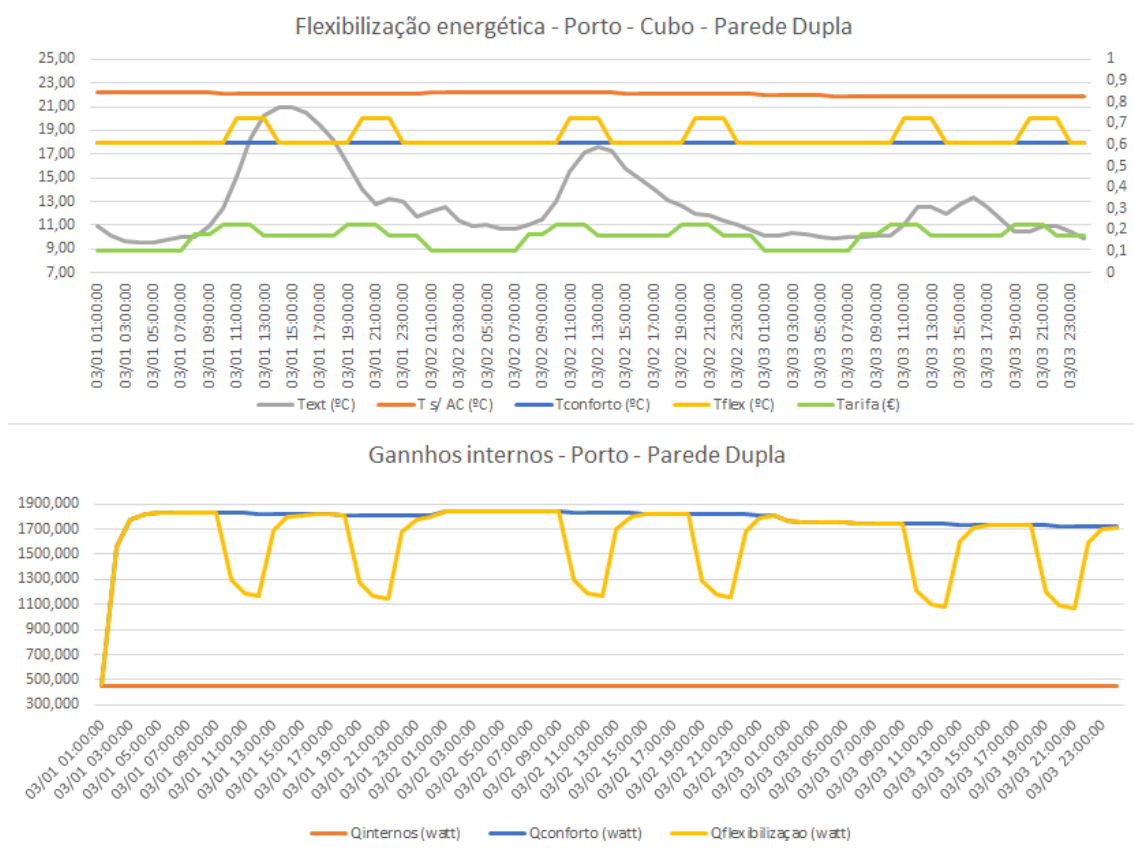


Figura E.12: Ganhos internos – Porto – Cubo – Parede Dupla – Inverno

Tabela E.37: Qmax e Qmin – Porto – Cubo – Parede Dupla - Inverno

	Q s/ AC	Qconforto	Qflexibilização
Máxima	444,87	1844,20	1843,99
Mínima	444,87	461,71	461,71

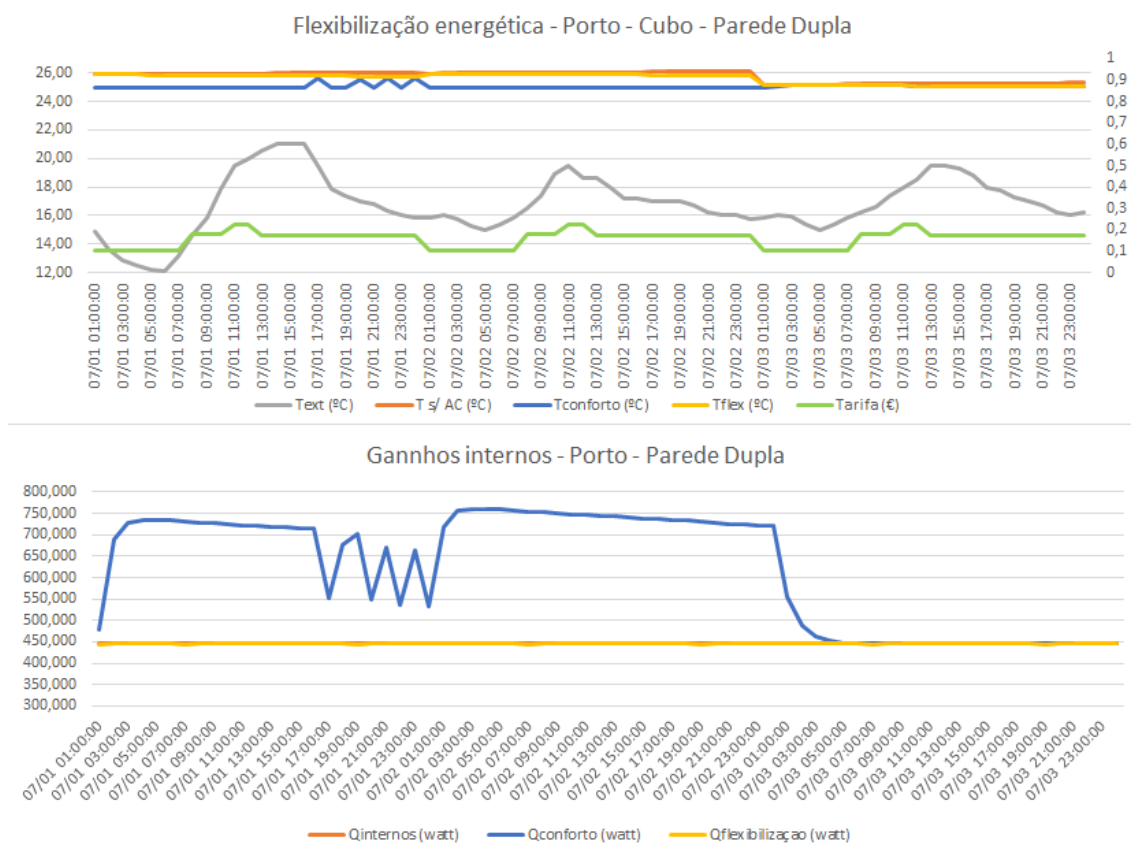


Figura E.13: Ganhos internos – Porto – Cubo – Parede Dupla – Verão

Tabela E.38: Qmax e Qmin – Porto – Cubo – Parede Dupla - Verão

	Q s/ AC	Qconforto	Qflexibilização
Máxima	444,87	761,38	444,88
Mínima	444,87	444,87	444,87

E.2.1 – Évora

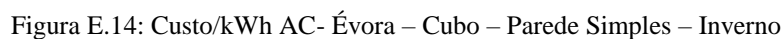


Tabela E.39: Custos/kWh AC – Évora – Cubo – Parede simples - Inverno

Custo/kWh AC - Évora - Vidro Duplo (argón)

Horário	Tarifa (€)	Custo/hora conforto (€/kW)	Custo/hora flexibilização (€/kW)
07/01 01:00:00	0,25	0,10	0,05
07/01 04:00:00	0,25	0,10	0,10
07/01 07:00:00	0,25	0,10	0,10
07/01 10:00:00	0,25	0,15	0,10
07/01 13:00:00	0,25	0,20	0,15
07/01 16:00:00	0,25	0,15	0,15
07/01 19:00:00	0,25	0,15	0,15
07/02 01:00:00	0,25	0,15	0,15
07/02 04:00:00	0,25	0,15	0,15
07/02 07:00:00	0,25	0,15	0,15
07/02 10:00:00	0,25	0,15	0,15
07/02 13:00:00	0,25	0,20	0,15
07/02 16:00:00	0,25	0,15	0,15
07/02 19:00:00	0,25	0,15	0,15
07/03 01:00:00	0,25	0,15	0,15
07/03 04:00:00	0,25	0,15	0,15
07/03 07:00:00	0,25	0,15	0,15
07/03 10:00:00	0,25	0,15	0,15
07/03 13:00:00	0,25	0,20	0,15
07/03 16:00:00	0,25	0,15	0,15
07/03 19:00:00	0,25	0,15	0,15
07/03 22:00:00	0,25	0,15	0,15

Figura E.15: Custo/kWh AC- Évora – Cubo – Vidro Duplo (árgon) – Verão

Tabela E.40: Custos/kWh AC – Évora – Cubo – Vidro Duplo (árgon) – Verão

	Cconforto	Cflexibilização
Custo/dia1	9,76 €	9,07 €
Custo/dia2	10,15 €	9,46 €
Custo/dia3	6,83 €	6,15 €
Custo/mês	213,92 €	197,41 €
	Poupa	112,26 € ano

E.2.2 - Lisboa

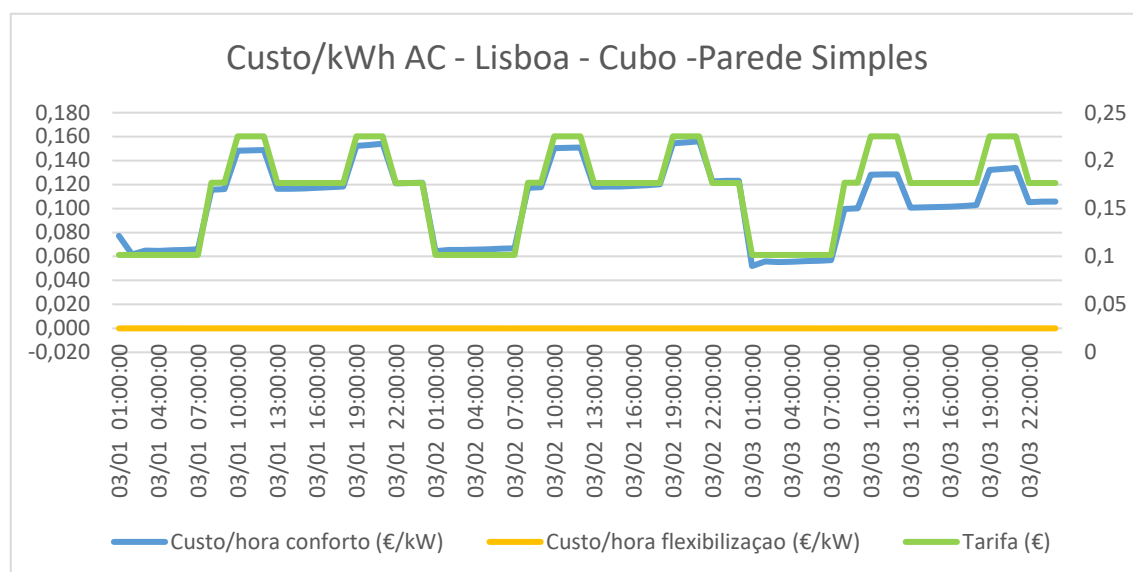


Figura E.16: Custo/kWh AC- Lisboa – Cubo – Parede Simples – Inverno

Tabela E.41: Custos/kWh AC – Lisboa – Cubo – Parede simples – Inverno

	Cconforto	Cflexibilização
Custo/dia1	2,67 €	0,00 €
Custo/dia2	2,70 €	0,00 €
Custo/dia3	2,30 €	0,00 €
Custo/mês	61,31 €	0,00 €
	Poupa	416,87 € ano

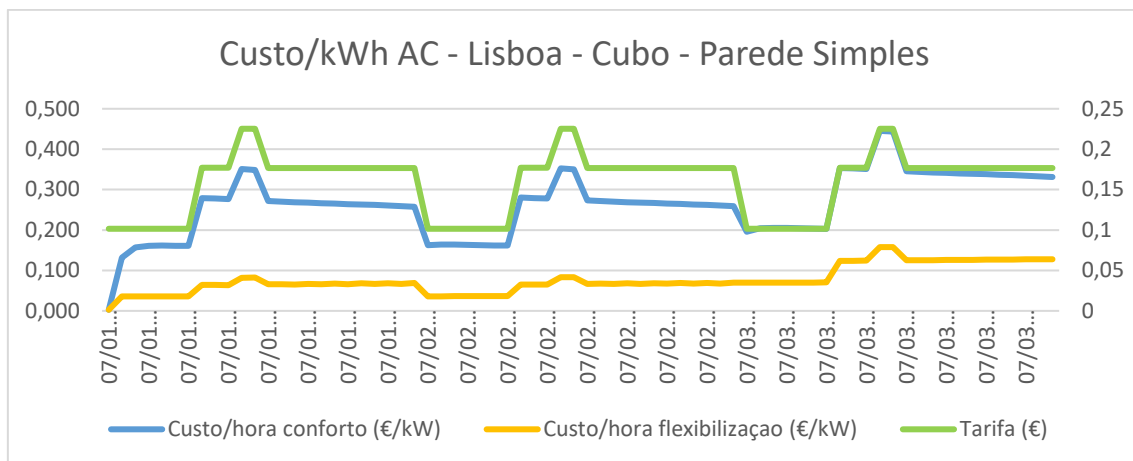


Figura E.17: Custo/kWh AC- Lisboa – Cubo – Parede Simples – Verão

Tabela E.42: Custos/kWh AC – Lisboa – Cubo – Parede simples - Verão

	Cconforto	Cflexibilização
Custo/dia1	5,65 €	1,38 €
Custo/dia2	5,87 €	1,43 €
Custo/dia3	7,43 €	2,69 €
Custo/mês	50,54 €	14,68 €
	Poupa	193,66 € ano

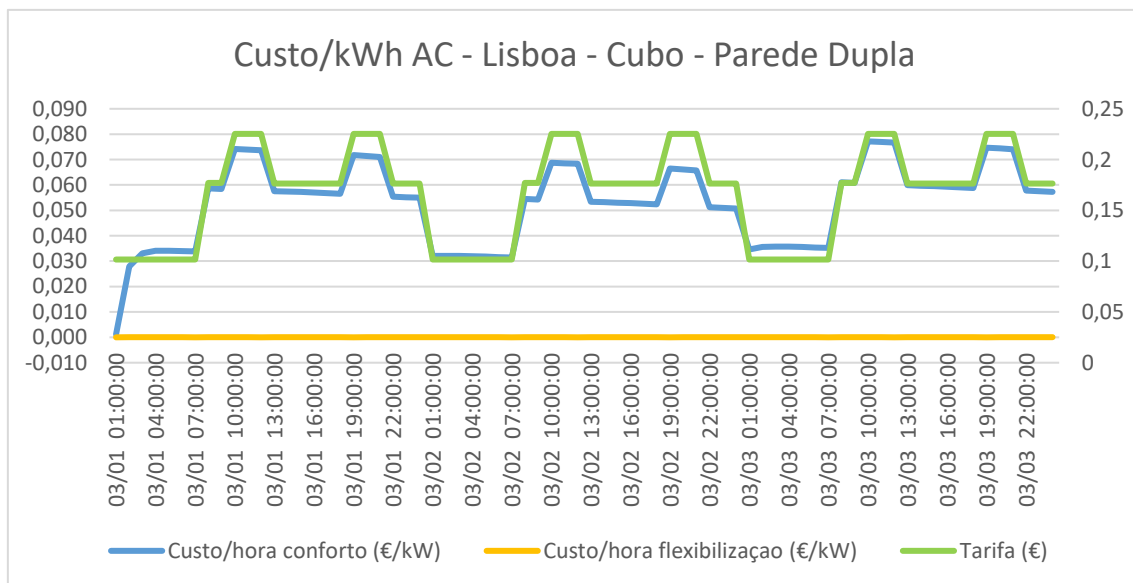


Figura E.18: Custo/kWh AC- Lisboa – Cubo – Parede Dupla – Inverno

Tabela E.43: Custos/kWh AC – Lisboa – Cubo – Parede Dupla - Inverno

	Cconforto	Cflexibilização		
Custo/dia1	1,26 €	0,00 €		
Custo/dia2	1,21 €	0,00 €		
Custo/dia3	1,35 €	0,00 €		
Custo/mês	30,55 €	0,00 €		
		Poupa	207,71 €	ano

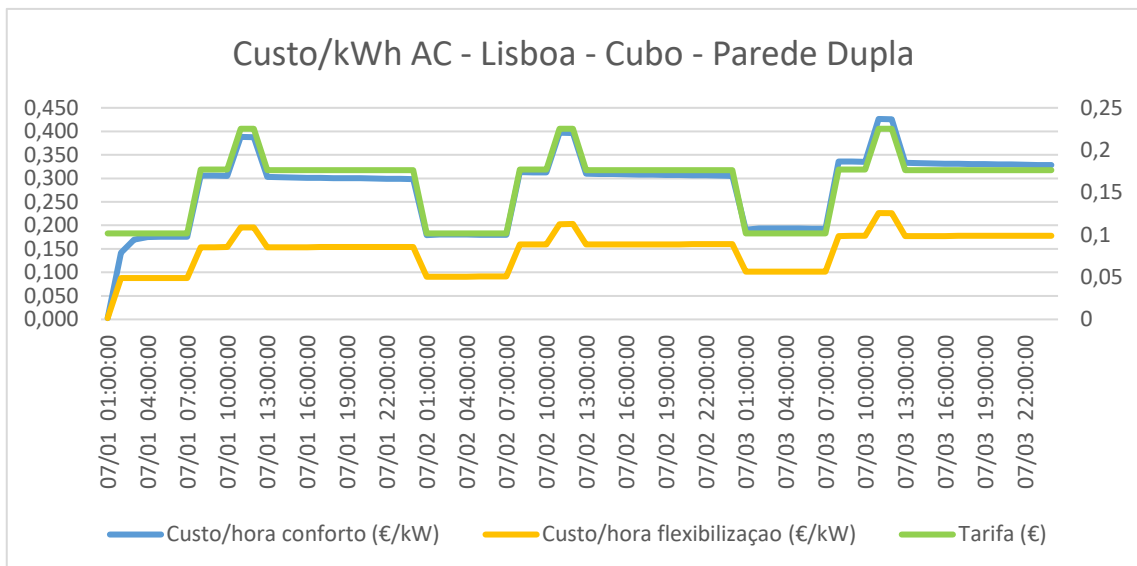


Figura E.19: Custo/kWh AC- Lisboa – Cubo – Parede Dupla – Verão

Tabela E.44: Custos/kWh AC – Lisboa – Cubo – Parede Dupla - Verão

	Cconforto	Cflexibilização		
Custo/dia1	6,32 €	3,23 €		
Custo/dia2	6,69 €	3,44 €		
Custo/dia3	7,17 €	3,83 €		
Custo/mês	161,41 €	83,94 €		
		Poupa	418,32 €	ano

E.2.3 - Porto

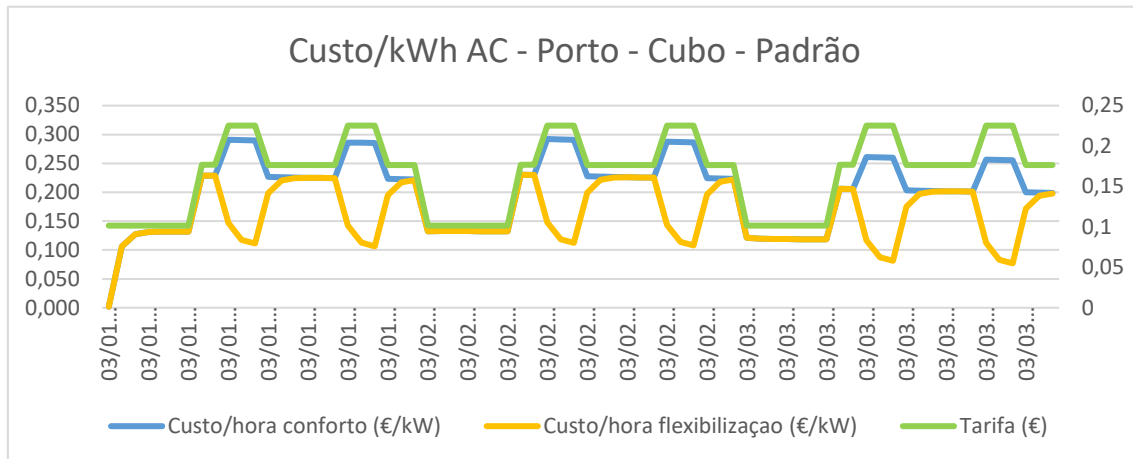


Figura E.20: Custo/kWh AC – Porto – Cubo – Padrão – Inverno

Tabela E.45: Custos/kWh AC – Porto – Cubo – Padrão - Inverno

	Cconforto	Cflexibilização
Custo/dia1	4,97 €	3,91 €
Custo/dia2	5,15 €	4,09 €
Custo/dia3	4,61 €	3,54 €
Custo/mês	39,27 €	30,78 €
	Poupa	57,73 € ano

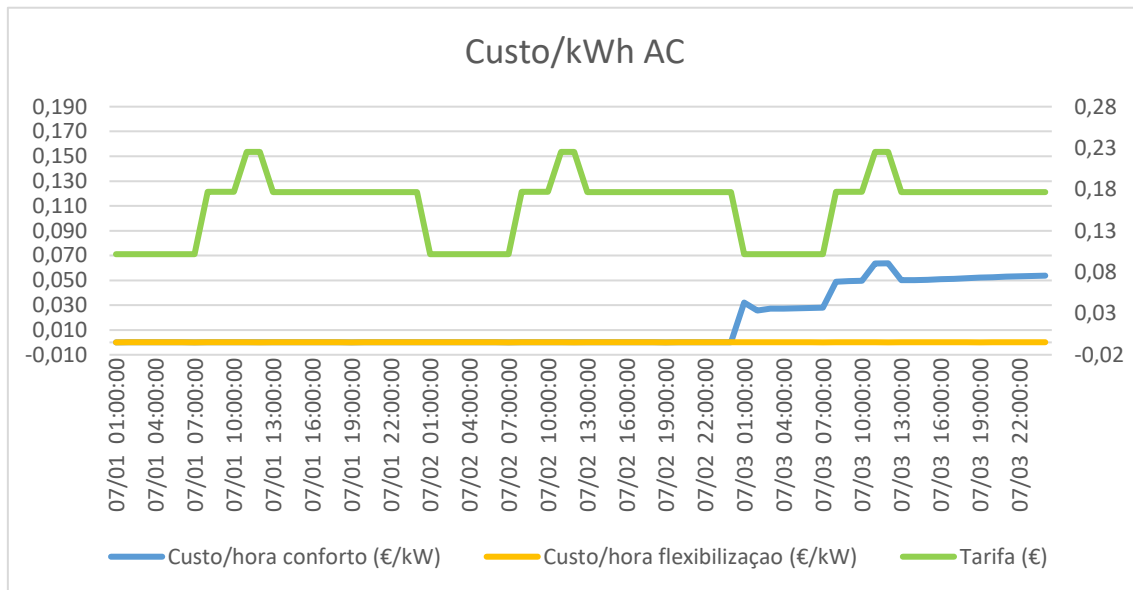


Figura E.21: Custo/kWh AC – Porto – Cubo – Padrão – Verão

Tabela E.46: Custos/kWh AC – Porto – Cubo – Padrão - Verão

	Cconforto	Cflexibilização
Custo/dia1	0,00 €	0,00 €
Custo/dia2	0,00 €	0,00 €
Custo/dia3	1,09 €	0,00 €
Custo/mês	8,74 €	0,00 €
	Poupa	59,43 € ano

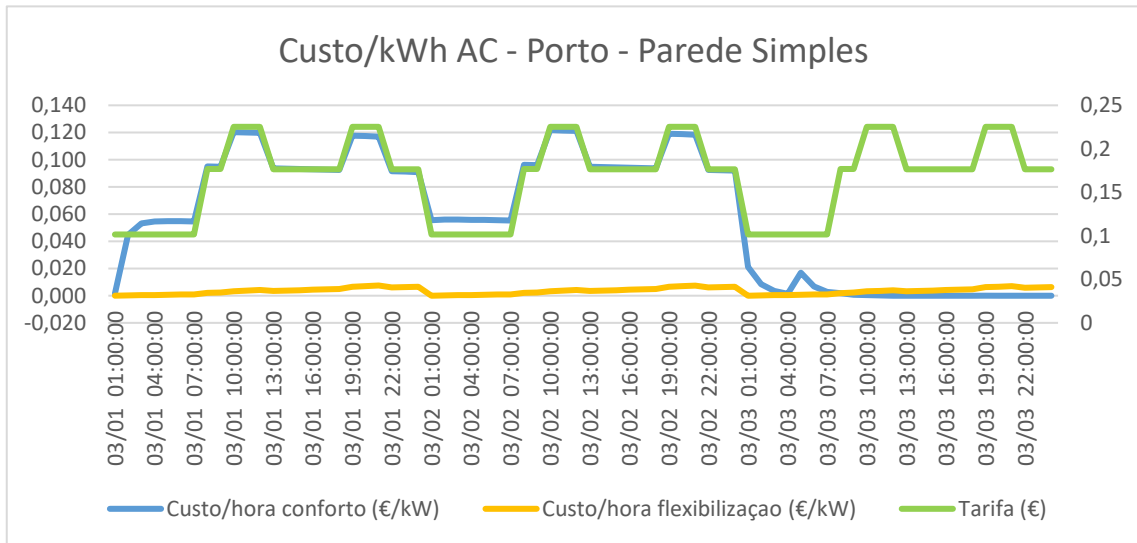


Figura E.22: Custo/kWh AC – Porto – Cubo – Parede Simples – Inverno

Tabela E.47: Custos/kWh AC – Porto – Cubo – Parede Simples - Inverno

	Cconforto	Cflexibilização
Custo/dia1	2,05 €	0,08 €
Custo/dia2	2,14 €	0,08 €
Custo/dia3	0,06 €	0,08 €
Custo/mês	34,09 €	1,99 €
	Poupa	218,29 € ano

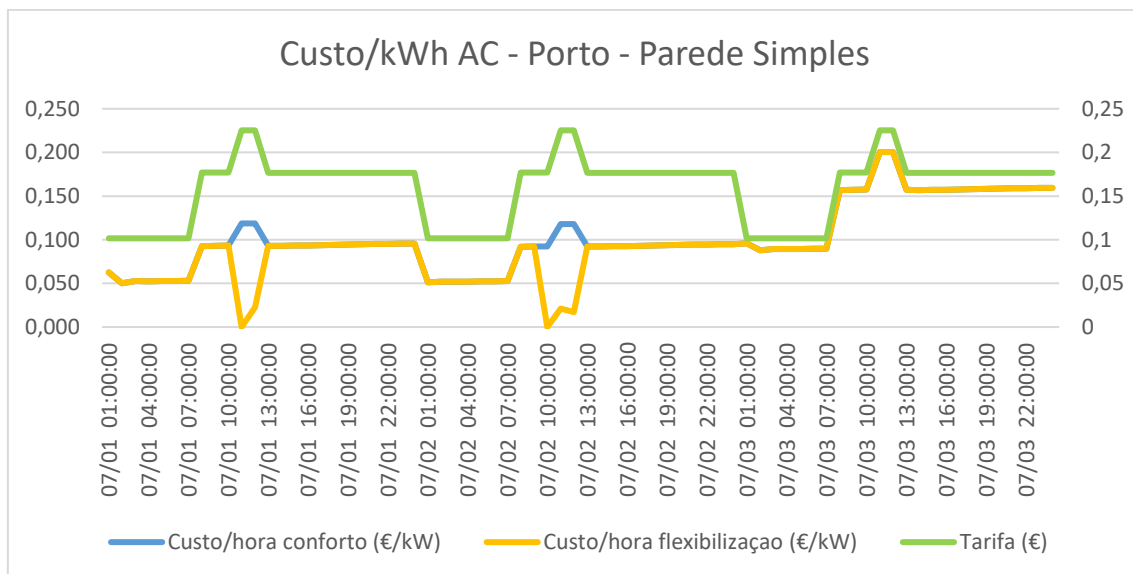


Figura E.23: Custo/kWh AC – Porto – Cubo – Parede Simples – Verão

Tabela E.48: Custos/kWh AC – Porto – Cubo – Parede Simples - Verão

	Cconforto	Cflexibilização
Custo/dia1	2,02 €	1,81 €
Custo/dia2	2,00 €	1,71 €
Custo/dia3	3,40 €	3,40 €
Custo/mês	59,40 €	55,36 €
	Poupa	27,45 € ano

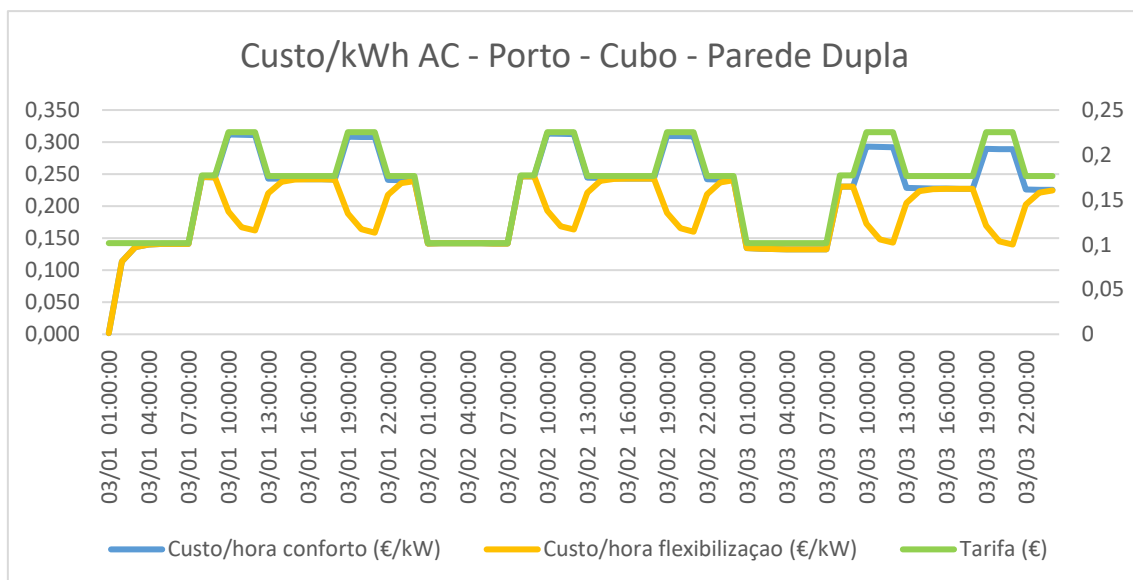


Figura E.24: Custo/kWh AC – Porto – Cubo – Parede Dupla – Inverno

Tabela E.49: Custos/kWh AC – Porto – Cubo – Parede Dupla – Inverno

	Cconforto	Cflexibilização
Custo/dia1	5,34 €	4,45 €
Custo/dia2	5,54 €	4,65 €
Custo/dia3	5,18 €	4,29 €
Custo/mês	128,42 €	107,20 €
	Poupa	144,30 € ano

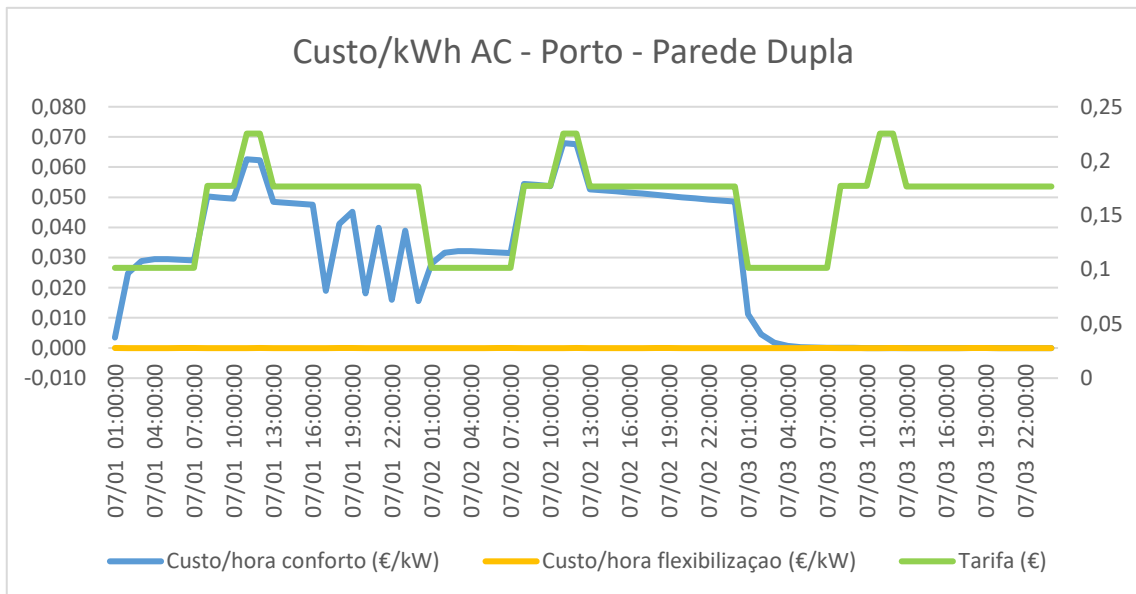


Figura E.25: Custo/kWh AC – Porto – Cubo – Parede Dupla – Verão

Tabela E.50: Custos/kWh AC – Porto – Cubo – Parede Dupla - Verão

	Cconforto	Cflexibilização
Custo/dia1	0,87 €	0,00 €
Custo/dia2	1,12 €	0,00 €
Custo/dia3	0,02 €	0,00 €
Custo/mês	16,13 €	0,00 €
	Poupa	109,70 € ano